



Universidade de Aveiro
Ano 2009

Departamento de Engenharia Mecânica

**João Alexandre
Gonçalves Graça**

**Desempenho Energético e Ambiental de
Veículos a Gasóleo em Interrupções de
Tráfego**



**João Alexandre
Gonçalves Graça**

**Desempenho Energético e Ambiental de
Veículos a Gasóleo em Interrupções de
Tráfego**

Dissertação apresentada à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia Mecânica, realizada sob a orientação científica da Doutora Margarida Coelho, Professora Auxiliar Convidada do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Aveiro.



O júri

Presidente

Prof. Doutor Francisco Queirós de Melo
Prof. Associado do Departamento de Engenharia Mecânica

Prof. Doutora Margarida Isabel Cabrita Marques Coelho (Orientadora)
Professora Auxiliar Convidada do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Aveiro

Doutora Oxana Tchepel
Investigadora Auxiliar do Centro de Estudos do Ambiente e do Mar (CESAM) da Universidade de Aveiro



Agradecimentos

Começo por agradecer a todos quantos puderam contribuir para a realização desta Dissertação de Mestrado, em especial, a Prof. Doutora Margarida Coelho pela orientação prestada e confiança demonstrada.

Agradeço ainda aos meus amigos e familiares pelo apoio ao longo destes meses de trabalho.



Palavras-chave

Emissões poluentes, Interrupções de Tráfego, Veículo a Gasóleo

Resumo

Esta Dissertação de Mestrado tem por tema o impacto da ocorrência de interrupções de tráfego em veículos com motores diesel ao nível das emissões de poluentes e do consumo de combustível. Por interrupção de tráfego deve-se entender uma singularidade que provoque a formação de fila e consequentes arranques e paragens sucessivas nas quais um veículo pode incorrer, são exemplos a portagem, a rotunda e os semáforos de controlo de velocidade.

O principal objectivo desta Dissertação consistiu na obtenção de valores de emissões para cada interrupção de tráfego e uma comparação entre veículos a gasóleo e gasolina.

Para tal utilizou-se uma metodologia que consiste na utilização dos perfis de velocidade do veículo em presença de uma interrupção de tráfego e declive da via, segundo a segundo, para posterior alocação a 14 diferentes modos correspondentes a 14 factores de emissão. Este método intitula-se Potência Específica do Veículo (VSP).

Os veículos a gasóleo em causa são um Skoda Octavia e um Citroen Jumper.

As principais conclusões referentes às portagens são que sempre que existe uma variação positiva de velocidade (aceleração) o nível de emissões aumenta. A comparação efectuada entre portagens convencionais, portagens tipo Via Verde e a ausência de infra-estrutura de portagens é vantajosa para esta última hipótese, sendo o aumento associado a uma portagem convencional proporcional ao aumento do número de veículos na fila. Importa referir que numa portagem convencional a aceleração desde a paragem até à velocidade de cruzeiro e os ciclos de pára-arranca são as situações mais prejudiciais em termos de emissões e consumo de combustível.

No caso das rotundas a situação é semelhante, pois a comparação entre o contornar uma rotunda com várias paragens a montante (resultantes da existência de fila), o contornar a mesma rotunda mas sem estar sujeito a qualquer paragem e a ausência de rotunda (na qual o veículo mantém a velocidade constante), esta última alternativa é vantajosa. De novo o facto de existirem menos variações de velocidade influi de forma determinante nos resultados. No seguimento disto foi também concluído que o aumento da diferença entre a velocidade de cruzeiro e a velocidade de negociação da rotunda implica o aumento do nível de emissões poluentes. O aumento do número de veículos em fila acentua ainda mais estes resultados, assim como o aumento dos fluxos de tráfego na rotunda.

No confronto entre semáforos de controlo de velocidade e a sua inexistência, foi concluído que a diminuição do tempo de sinal verde e o aumento do tempo de sinal vermelho têm por consequência o aumento das emissões de poluentes e do consumo de combustível. O aumento do fluxo de tráfego numa via regulada por estes sinais também tem por consequência o aumento das emissões e do consumo de combustível.

Na comparação com veículos a gasolina (a comparação não foi realizada com um veículo em particular, mas com 17 veículos diferentes) ficou patente o seguinte, veículos a gasóleo são mais poluentes no que diz respeito a emissões de NO_x , mas menos poluentes no que se refere a CO e HC. Estes resultados referem-se a todas as interrupções de tráfego. O poluente CO_2 conduz a uma situação atípica, pois no caso do veículo Citroen Jumper o nível de emissões de CO_2 é sempre superior ao dos veículos a gasolina. No caso do veículo Skoda Octavia passa-se exactamente o contrário, à excepção do nível de emissões de CO_2 em portagens tipo Via Verde e na situação na qual não existem portagens.



Keywords

Pollutant emissions, Traffic interruptions, Diesel Vehicle

Abstract

The main purpose of this Master Thesis was to analyse the impact of traffic interruptions on diesel powered vehicles, as far as emissions and fuel consumption levels are concerned. Traffic interruption is a singularity that leads to a traffic queue which has as consequence the occurrence of stop and go cycles. Toll facilities, roundabouts and speed control traffic signals were studied.

The methodology used is based on the Vehicle Specific Power variable and is related to the second-by-second speed, acceleration/deceleration and grade of the road terrain. From those profiles it is made an allocation to 14 different modes which have correspondence to 14 emission rates.

The main target of this work was the calculation of emission values for each traffic interruption for further comparison between diesel and gasoline powered vehicles. The diesel vehicles considered in this work are Skoda Octavia and Citroen Jumper.

The main conclusion taken from toll facility analysis is that there is an increase on pollutant emissions whenever occurs an acceleration. The increase in emissions and fuel consumption is proportional to the number of vehicles in line waiting for the payment. It must be emphasized that in conventional tolls the acceleration back to cruise speed and the stop and go cycles are the situations more harmful to the pollutant emissions and fuel consumption.

Concerning roundabouts, comparing a vehicle that stops several times before leaving the roundabout area, with a vehicle that does not stop before leaving the area and with another vehicle that keeps its cruise speed gives advantage in terms of emissions to the last vehicle. Again the speed variation has a great deal of influence in the final results. Following this conclusion it's was also noticed that the increase in the difference between cruise speed and roundabout negotiation speed implicates an increase in pollutant emissions. Not only the raise in the number of vehicles in line but also the increase in the traffic flows around the roundabout have negative implications on emissions.

In the comparison between speed control traffic signals and their absence was noticed that the increase in red time and the reduction in green time lead to an increase the level of pollutant emissions. The increase in the traffic flows in roads regulated by these signals also increased the level of emissions.

Comparing with gasoline powered vehicles, diesel powered vehicles have larger NO_x pollutant emissions but fewer CO and HC pollutant emission. Those results became clear for all traffic interruptions. The pollutant CO_2 is involved in an atypical situation, because the vehicle Citroen Jumper has always a superior level of CO_2 emissions than the gasoline vehicles. In case of the vehicle Skoda Octavia the opposite occurs, only with the exception of 2 cases, the emissions levels in electronic toll facilities and in the situation where there are no tolls.

Índice

ÍNDICE DE FIGURAS	3
ÍNDICE DE TABELAS.....	5
1. INTRODUÇÃO	7
1.1. Estrutura da Dissertação	9
1.2. Objectivos.....	9
1.3. Calendarização	10
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	11
2.1. Portagens.....	11
2.2. Rotundas.....	12
2.3. Semáforos de Controlo de Velocidade.....	13
3. METODOLOGIA.....	15
3.1. VSP	15
3.2. Caracterização de Tráfego – Portagem	19
3.3. Caracterização de Tráfego – Rotunda	21
3.4. Caracterização de Tráfego – Semáforos de Controlo de Velocidade	23
4. RESULTADOS E SUA DISCUSSÃO	24
4.1. Portagens.....	24
4.1.1. Skoda Octavia	24
4.1.2. Citroen Jumper	30
4.2. Rotundas.....	35
4.2.1. Skoda Octavia	36
4.2.2. Citroen Jumper	46
4.3. Semáforos de Controlo de Velocidade.....	58
4.3.1. Skoda Octavia	58
4.3.2. Citroen Jumper	61

5. CONCLUSÕES E TRABALHO FUTURO.....	65
5.1. Portagem	65
5.2. Rotunda	66
5.3. Semáforos de controlo de velocidade.....	67
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	68

Índice de Figuras

FIGURA 1 - EVOLUÇÃO DO CONSUMO DE ENERGIA FINAL POR SECTOR (EEA, 2008).....	7
FIGURA 2 - CRESCIMENTO DAS EMISSÕES DE CO ₂ POR SECTOR (EEA, 2008)	8
FIGURA 3 - CRESCIMENTO DA PERCENTAGEM DE AUTOMÓVEIS LIGEIROS COM MOTOR DIESEL NA EUROPA A 15 (ACEA, 2009).....	8
FIGURA 4 – PERFIL DE VELOCIDADE NUMA PORTAGEM CONVENCIONAL E PORTAGEM DE PAGAMENTO ELECTRÓNICO (PAL E PAC REPRESENTAM, RESPECTIVAMENTE, O PÁRA-ARRANCA LONGO E O PÁRA-ARRANCA CURTO) (COELHO, 2005).....	20
FIGURA 5 – PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS DE UMA ROTUNDA (COELHO, 2005).....	21
FIGURA 6 – TRÊS ZONAS DA REGIÃO DE INFLUÊNCIA DE UMA ROTUNDA (COELHO, 2005).....	21
FIGURA 7 – PERFIS DE VELOCIDADE TÍPICOS NUMA ROTUNDA (COELHO, 2005).....	22
FIGURA 8 – DIFERENÇA ENTRE AS EMISSÕES POR VEÍCULO NUMA PORTAGEM CONVENCIONAL E NUMA PORTAGEM DE PAGAMENTO ELECTRÓNICO PARA OS POLUENTES CO, NO _x E HC	25
FIGURA 9 - DIFERENÇA ENTRE AS EMISSÕES POR VEÍCULO NUMA PORTAGEM CONVENCIONAL E PORTAGEM DE PAGAMENTO ELECTRÓNICO PARA OS POLUENTES CO ₂ E CONSUMO DE GASÓLEO	25
FIGURA 10 - RAZÃO ENTRE AS EMISSÕES NUMA PORTAGEM CONVENCIONAL E NUMA PORTAGEM DE PAGAMENTO ELECTRÓNICO PARA TODOS OS POLUENTES	26
FIGURA 11 - DIFERENÇA ENTRE AS EMISSÕES POR VEÍCULO NUMA PORTAGEM CONVENCIONAL E NA AUSÊNCIA DE PORTAGEM PARA OS POLUENTES CO, NO _x E HC	26
FIGURA 12 - DIFERENÇA ENTRE AS EMISSÕES POR VEÍCULO NUMA PORTAGEM CONVENCIONAL E NA AUSÊNCIA DE PORTAGEM PARA O POLUENTE CO ₂ E CONSUMO DE COMBUSTÍVEL.....	27
FIGURA 13 – RAZÃO ENTRE AS EMISSÕES NUMA PORTAGEM CONVENCIONAL E NA AUSÊNCIA DE PORTAGEM PARA TODOS OS POLUENTES E CONSUMO DE COMBUSTÍVEL	27
FIGURA 14 – TEMPO DISPENDIDO EM CADA MODO VSP	30
FIGURA 15 - DIFERENÇA ENTRE PORTAGEM CONVENCIONAL E PORTAGEM DE PAGAMENTO ELECTRÓNICO PARA OS POLUENTES NO _x E PM	31
FIGURA 16 - DIFERENÇA ENTRE PORTAGEM CONVENCIONAL E PORTAGEM DE PAGAMENTO ELECTRÓNICO PARA O POLUENTE CO ₂ E CONSUMO DE COMBUSTÍVEL.....	31
FIGURA 17 - RAZÃO ENTRE PORTAGEM CONVENCIONAL E UMA PORTAGEM DE PAGAMENTO ELECTRÓNICO PARA TODOS OS POLUENTES	32
FIGURA 18 - DIFERENÇA ENTRE PORTAGEM CONVENCIONAL E AUSÊNCIA DE PORTAGEM PARA OS POLUENTES NO _x E PM	32
FIGURA 19 - DIFERENÇA ENTRE PORTAGEM CONVENCIONAL E AUSÊNCIA DE PORTAGEM PARA CO ₂ E CONSUMO DE COMBUSTÍVEL	33
FIGURA 20 - RAZÃO ENTRE PORTAGEM CONVENCIONAL E AUSÊNCIA DE PORTAGEM PARA TODOS OS POLUENTES	33
FIGURA 21 – TEMPO DISPENDIDO EM CADA MODO VSP	35
FIGURA 22 - DIFERENÇA ENTRE VÁRIAS PARAGENS E NENHUMA PARAGEM NUMA ROTUNDA PARA OS POLUENTES CO, NO _x E HC	36
FIGURA 23 - DIFERENÇA ENTRE VÁRIAS PARAGENS E NENHUMA PARAGEM NUMA ROTUNDA PARA O POLUENTE CO ₂ E CONSUMO DE COMBUSTÍVEL	37
FIGURA 24 - RAZÃO ENTRE VÁRIAS PARAGENS E NENHUMA PARAGEM NUMA ROTUNDA PARA TODOS OS POLUENTES	37
FIGURA 25 - DIFERENÇA ENTRE VÁRIAS PARAGENS E AUSÊNCIA DE ROTUNDA PARA OS POLUENTES CO, NO _x E HC	38

FIGURA 26 - DIFERENÇA ENTRE VÁRIAS PARAGENS E AUSÊNCIA DE ROTUNDA PARA O POLUENTE CO ₂ E CONSUMO DE COMBUSTÍVEL	38
FIGURA 27 - RAZÃO ENTRE VÁRIAS PARAGENS E AUSÊNCIA ROTUNDA PARA TODOS OS POLUENTES.....	39
FIGURA 28 - DIFERENÇA ENTRE A PRESENÇA E AUSÊNCIA DE ROTUNDAS EM TERMOS DE EMISSÕES DE CO	40
FIGURA 29 - DIFERENÇA ENTRE A PRESENÇA E AUSÊNCIA DE ROTUNDAS EM TERMOS DE EMISSÕES DE NO _x	41
FIGURA 30 - DIFERENÇA ENTRE A PRESENÇA E AUSÊNCIA DE ROTUNDAS EM TERMOS DE EMISSÕES DE HC	41
FIGURA 31 - DIFERENÇA ENTRE A PRESENÇA E AUSÊNCIA DE ROTUNDAS EM TERMOS DE EMISSÕES DE CO ₂	42
FIGURA 32 - DIFERENÇA ENTRE A PRESENÇA E AUSÊNCIA DE ROTUNDAS EM TERMOS DE CONSUMO DE COMBUSTÍVEL	42
FIGURA 33 – VARIAÇÃO DAS EMISSÕES DE CO, NO _x E HC EM RELAÇÃO AO FLUXO DE TRÁFEGO NO INTERIOR DA ROTUNDA	43
FIGURA 34 - VARIAÇÃO DAS EMISSÕES DE CO ₂ E DO CONSUMO DE COMBUSTÍVEL EM RELAÇÃO AO FLUXO DE TRÁFEGO NO INTERIOR DA ROTUNDA	43
FIGURA 35 – TEMPO DISPENDIDO EM CADA MODO VSP	44
FIGURA 36 - VARIAÇÃO DAS EMISSÕES DE CO, NO _x E HC EM RELAÇÃO À VELOCIDADE DE CRUZEIRO.....	44
FIGURA 37 - VARIAÇÃO DAS EMISSÕES DE CO ₂ E DO CONSUMO DE COMBUSTÍVEL EM RELAÇÃO À VELOCIDADE CRUZEIRO	45
FIGURA 38 – COMPARAÇÃO DAS EMISSÕES DE NO _x , CO E HC (G/H) ENTRE UMA INTERSECÇÃO SEMAFORIZADA E UMA ROTUNDA	45
FIGURA 39 – COMPARAÇÃO DAS EMISSÕES DE CO ₂ E DO CONSUMO DE COMBUSTÍVEL (G/H) ENTRE UMA INTERSECÇÃO SEMAFORIZADA E UMA ROTUNDA	46
FIGURA 40 – DIFERENÇA ENTRE VÁRIAS PARAGENS E NENHUMA PARAGEM NUMA ROTUNDA PARA OS POLUENTES NO _x , PM, CO E HC.....	47
FIGURA 41 – DIFERENÇA ENTRE VÁRIAS PARAGENS E NENHUMA PARAGEM NUMA ROTUNDA PARA OS POLUENTES CO ₂ E PARA O CONSUMO DE COMBUSTÍVEL	47
FIGURA 42 – RAZÃO ENTRE VÁRIAS PARAGENS E NENHUMA PARAGEM NUMA ROTUNDA PARA TODOS OS POLUENTES	48
FIGURA 43 – DIFERENÇA ENTRE VÁRIAS PARAGENS E AUSÊNCIA DE ROTUNDA PARA OS POLUENTES NO _x , PM, CO E HC	48
FIGURA 44 – DIFERENÇA ENTRE VÁRIAS PARAGENS E AUSÊNCIA DE ROTUNDA PARA O POLUENTE CO ₂ E PARA O CONSUMO DE COMBUSTÍVEL	49
FIGURA 45 – RAZÃO ENTRE VÁRIAS PARAGENS E AUSÊNCIA DE ROTUNDA PARA TODOS OS POLUENTES.....	49
FIGURA 46 – DIFERENÇA ENTRE A PRESENÇA E AUSÊNCIA DE ROTUNDAS EM TERMOS DE EMISSÕES DE CO	50
FIGURA 47 – DIFERENÇA ENTRE A PRESENÇA E AUSÊNCIA DE ROTUNDAS EM TERMOS DE EMISSÕES DE NO _x	51
FIGURA 48 – DIFERENÇA ENTRE A PRESENÇA E AUSÊNCIA DE ROTUNDAS EM TERMOS DE EMISSÕES DE HC	51
FIGURA 49 – DIFERENÇA ENTRE A PRESENÇA E AUSÊNCIA DE ROTUNDAS EM TERMOS DE EMISSÕES DE CO ₂	52
FIGURA 50 – DIFERENÇA ENTRE A PRESENÇA E AUSÊNCIA DE ROTUNDAS EM TERMOS DE EMISSÕES DE PM	52
FIGURA 51 – DIFERENÇA ENTRE A PRESENÇA E AUSÊNCIA DE ROTUNDAS EM TERMOS DE CONSUMO DE COMBUSTÍVEL	53

FIGURA 52 – VARIAÇÃO DAS EMISSÕES DE CO E HC EM RELAÇÃO AO FLUXO DE TRÁFEGO NO INTERIOR DA ROTUNDA.....	54
FIGURA 53 – VARIAÇÃO DAS EMISSÕES DE CO ₂ E CONSUMO DE COMBUSTÍVEL EM RELAÇÃO AO FLUXO DE TRÁFEGO NO INTERIOR DA ROTUNDA	54
FIGURA 54 – VARIAÇÃO DAS EMISSÕES DE NO _x E PM EM RELAÇÃO AO FLUXO DE TRÁFEGO NO INTERIOR DA ROTUNDA.....	55
FIGURA 55 – TEMPO DISPENDIDO EM CADA MODO VSP	55
FIGURA 56 – VARIAÇÃO DAS EMISSÕES DE NO _x E PM EM RELAÇÃO À VELOCIDADE DE CRUZEIRO	56
FIGURA 57 – VARIAÇÃO DAS EMISSÕES DE CO E HC EM RELAÇÃO À VELOCIDADE DE CRUZEIRO	56
FIGURA 58 – VARIAÇÃO DAS EMISSÕES DE CO ₂ E CONSUMO DE COMBUSTÍVEL EM RELAÇÃO À VELOCIDADE DE CRUZEIRO	57
FIGURA 59 – COMPARAÇÃO DAS EMISSÕES DE NO _x , PM E HC (G/H) ENTRE UMA INTERSECÇÃO SEMAFORIZADA E UMA ROTUNDA	57
FIGURA 60 – COMPARAÇÃO DAS EMISSÕES DE CO ₂ E DO CONSUMO DE COMBUSTÍVEL (G/H) ENTRE UMA INTERSECÇÃO SEMAFORIZADA E UMA ROTUNDA	58
FIGURA 61 – EFEITO DO AUMENTO DO TEMPO DE INCREMENTO DO SINAL VERMELHO NAS EMISSÕES (Q=900VPH)	59
FIGURA 62 – EFEITO DO AUMENTO DO TEMPO MÍNIMO DO SINAL VERDE NAS EMISSÕES (Q=900VPH)	59
FIGURA 63 – EMISSÕES NA PRESENÇA DOS SINAIS (CASO A)	60
FIGURA 64 – EMISSÕES CO ₂ E CONSUMO DE COMBUSTÍVEL NA PRESENÇA DOS SINAIS (CASO A)	60
FIGURA 65 – EFEITO DO AUMENTO DO TEMPO DE INCREMENTO DO SINAL VERMELHO NAS EMISSÕES (Q=900VPH)	61
FIGURA 66 – EFEITO DO AUMENTO DO TEMPO MÍNIMO DO SINAL VERDE NAS EMISSÕES (Q=900VPH)	61
FIGURA 67 – EMISSÕES NA PRESENÇA DOS SINAIS (CASO A)	62
FIGURA 68 – EMISSÕES E CONSUMO DE COMBUSTÍVEL NA PRESENÇA DOS SINAIS (CASO A)	62
FIGURA 69 – TEMPO DISPENDIDO EM CADA MODO VSP	63

Índice de Tabelas

TABELA 1 – CALENDARIZAÇÃO.....	10
TABELA 2 - DEFINIÇÃO DOS MODOS VSP DE ACORDO COM OS VALORES DE VSP (FREY, ET AL. , 2006).....	16
TABELA 3 – NORMAS DE EMISSÃO DE POLUENTES PARA VEÍCULOS LIGEIROS (G/KM) NA UNIÃO EUROPEIA (* - APENAS APLICÁVEL A VEÍCULOS A DIESEL) (DIRECÇÃO GERAL DO AMBIENTE DA COMISSÃO EUROPEIA, 2008)	17
TABELA 4 - DEFINIÇÃO DOS FACTORES DE EMISSÃO PARA O OCTAVIA (COELHO ET AL., 2009).....	17
TABELA 5 - DEFINIÇÃO DOS FACTORES DE EMISSÃO PARA A JUMPER (COELHO ET AL., 2009)	18
TABELA 6 – FACTORES DE EMISSÃO CITROEN JUMPER OBTIDOS ATRAVÉS DE REGRESSÃO LINEAR	18
TABELA 7 – FACTORES DE EMISSÃO DOS VEÍCULOS A GASOLINA	19
TABELA 8 – CARACTERÍSTICAS TÍPICAS EM TERMOS DE DISTÂNCIAS E TEMPOS NOS DIFERENTES TIPOS DE CONDUÇÃO NUMA PORTAGEM CONVENCIONAL (COELHO, 2005)	20
TABELA 9 – CARACTERIZAÇÃO DE CADA CICLO DE PÁRA-ARRANCA NUMA ROTUNDA (COELHO, 2005).....	22
TABELA 10 - COMPARAÇÃO ENTRE OS DIVERSOS MODOS DE CONDUÇÃO E OS DIFERENTES TIPOS DE PORTAGENS	29
TABELA 11 – FACTORES DE EMISSÃO DE CO ₂	30
TABELA 12 - COMPARAÇÃO ENTRE OS DIVERSOS MODOS DE CONDUÇÃO E OS DIFERENTES TIPOS DE PORTAGENS	34
TABELA 13 – FACTORES DE EMISSÃO DE CO ₂	35
TABELA 14 – FACTORES DE EMISSÃO CO ₂ E RESPECTIVO PESO DE CADA MODO VSP	63

1. Introdução

De acordo com a Agência Internacional da Energia (IEA), as necessidades energéticas mundiais crescerão cerca de 55% entre 2005 e 2030 (IEA, 2007). Este aumento das necessidades energéticas tem por resultado um aumento das emissões de gases de efeito de estufa. Segundo o mesmo cenário apresentado no World Energy Outlook pela IEA em 2007, sem mais nenhuma medida a ser tomada por parte das autoridades, as emissões de CO₂ aumentaram 49% até 2030, novamente tomando por referência os valores de emissões de 2005 (IEA, 2007).

O consumo de energia e as emissões de CO₂ terão de ser diminuídos por parte de todos os sectores económicos, especialmente por parte do sector que desde 1990 e até 2005 tem observado o maior crescimento em termos de consumo energético final, precisamente o sector dos transportes (EEA, 2008).

Entre 2004 e 2005 o consumo final de energia de todos os sectores diminuiu cerca de 0,3%, mas entre 1990 e 2005 aumentou 9,3% (EEA, 2008). Nesse período temporal de 15 anos, o sector dos transportes foi o que mais aumentou o consumo (31%), sendo em 2005 o maior consumidor de energia final com cerca de 360 milhões de toneladas equivalentes de petróleo (EEA, 2008). Os melhoramentos na economia de combustível por parte dos veículos, no geral, foram totalmente eclipsados pelo aumento do número de passageiros e do transporte de mercadorias. Modificações no estilo de vida, um crescimento disperso das áreas urbanas e consequente aumento das distâncias percorridas, um aumento nas taxas de motorização e o crescimento da aviação comercial, especialmente com as companhias aéreas ditas de baixo custo, justificam plenamente o aumento verificado. Os dados apresentados na Figura 1 representam o cenário apresentado neste parágrafo (EEA, 2008).

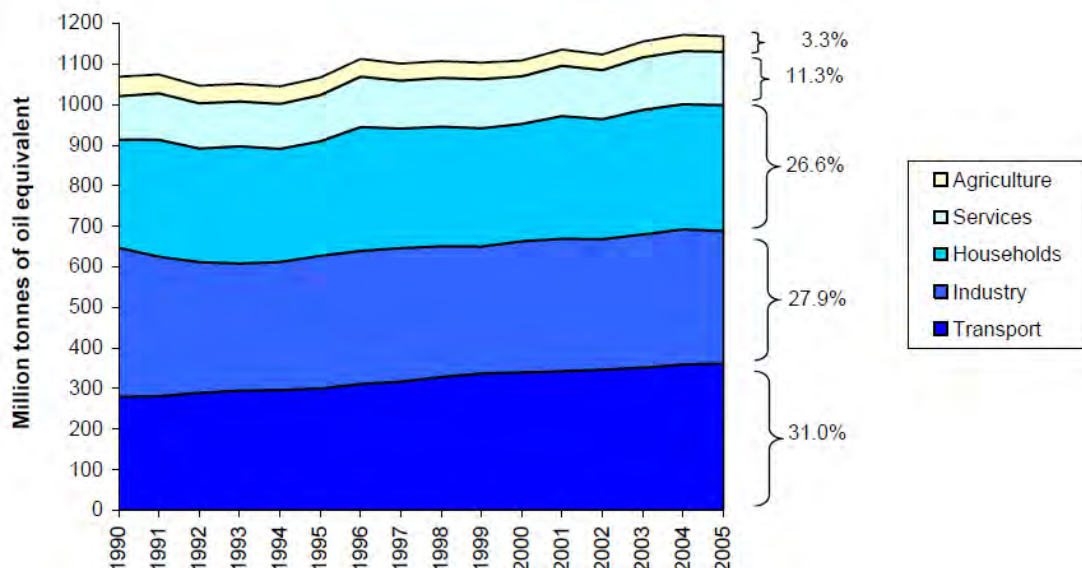


Figura 1 - Evolução do consumo de energia final por sector (EEA, 2008)

No mesmo relatório surge, para igual período temporal, um panorama da evolução da emissão de gases de efeito de estufa relacionados com o consumo e produção de energia (Figura 2).

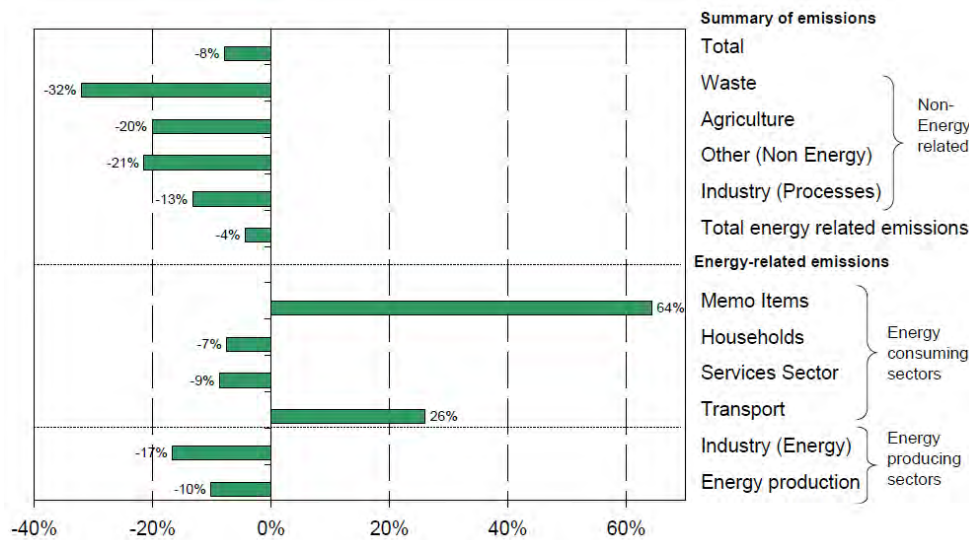


Figura 2 - Crescimento das emissões de CO₂ por sector (EEA, 2008)

É fácil de prever o que ocorreu com as emissões de CO₂ após este aumento no consumo de combustível. As emissões de CO₂, no sector dos transportes, na UE a 27, aumentaram quase 25%, países como a Estónia, a Bulgária e a Lituânia diminuíram as suas emissões, no entanto, países como Portugal, Espanha, Áustria, Luxemburgo, Irlanda e Chipre viram as suas emissões aumentar em cerca de 80%.

Segundo a Associação Europeia de Construtores Automóveis (ACEA), as vendas de automóveis com motor diesel na Europa a 15 aumentou de cerca de 15%, em 1990, para mais de 50% em 2008. Países como a França e a Bélgica cresceram de cerca de 30% para mais de 75%, em igual período. A Espanha cresceu de 14% para 69%. Portugal teve o aumento mais acentuado, passou de uns irrisórios 5% para os 68%. (ACEA, 2009)

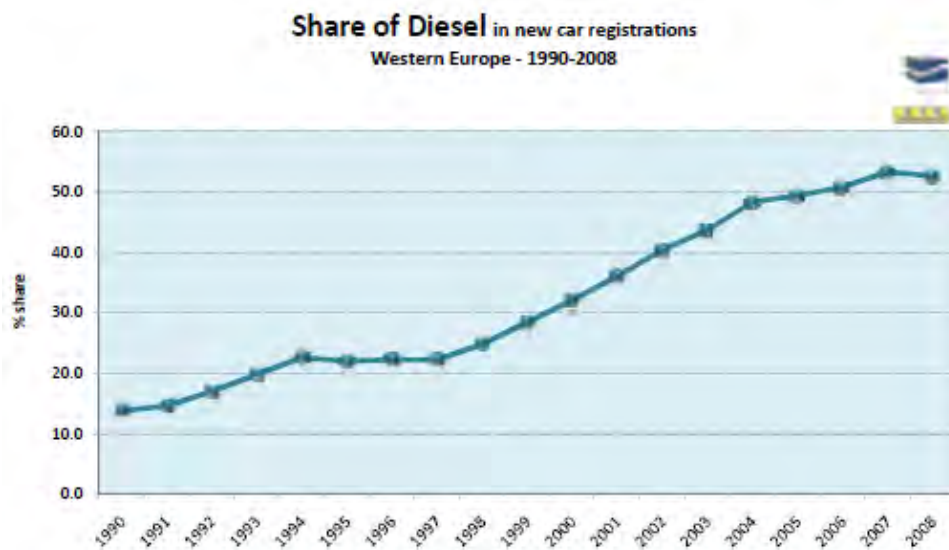


Figura 3 - Crescimento da percentagem de automóveis ligeiros com motor diesel na Europa a 15 (ACEA, 2009)

Como se apura dos dados retirados da figura supra mencionada, o mercado Europeu de automóveis com motores diesel cresceu de cerca de 15% para mais de 50%, nos últimos 18 anos (Figura 3). Logo, torna-se relevante quantificar o nível de emissões poluentes e de consumo de combustível de automóveis com motores diesel, além disso toma-se de sobremaneira importante conhecer a fundo os perfis de emissão de poluentes (CO_2 , CO, HC, NO_x e PM) deste tipo de veículos em presença de singularidades de tráfego, visto que o mesmo estudo já se efectuou em veículos a gasolina. É importante, ainda, que tal estudo incida sobre as situações que à partida são mais nefastas em termos de emissões. Estas situações são as interrupções de tráfego, isto é, situações em que os veículos incorrem em mudanças acentuadas de velocidade. São exemplos disso as rotundas, semáforos (em cruzamentos e de controlo de velocidade) e portagens.

1.1. Estrutura da Dissertação

Esta Dissertação de Mestrado divide-se em 5 capítulos. No primeiro são apresentados os objectivos e a calendarização adoptados. O segundo capítulo consiste numa revisão bibliográfica na qual se indicam trabalhos já realizados relevantes para o tema desta Dissertação. O capítulo seguinte faz a caracterização da metodologia seguida, bem como de cada interrupção de tráfego estudada. No quarto capítulo são indicados os resultados e é feita a sua discussão. As conclusões finais e uma reflexão sobre a possibilidade de trabalho futuro são produzidas no quinto capítulo.

1.2. Objectivos

O principal objectivo deste trabalho é a obtenção de indicadores que permitam avaliar o desempenho ambiental de veículos ligeiros movidos a gasóleo na presença de interrupções de tráfego. Neste trabalho são utilizados factores de emissão medidos experimentalmente em dois veículos distintos a gasóleo, um Skoda Octavia e uma Citroen Jumper (Coelho et al., 2008), os quais mais à frente serão distinguidos quanto às suas características. Essa avaliação terá lugar em interrupções de tráfego, como são exemplo, portagens, rotundas e semáforos (focado nos semáforos de controlo de velocidade, locais onde, por vezes, podem ocorrer situações de paragens e arranques sucessivos - “pára-arranca”).

Outro objectivo é a actualização dos modelos desenvolvidos em trabalhos anteriores (Coelho, 2005). Nesses trabalhos foram descritos e compilados modelos que descrevem o comportamento de automóveis movidos a gasolina na presença de cada uma das três interrupções de tráfego acima referidas. O propósito deste trabalho passa pela actualização destes modelos, tornando-os assim capazes de interpretar o comportamento de automóveis ligeiros movidos a gasóleo.

Por último, far-se-á a comparação entre veículos a gasolina e a gasóleo em interrupções de tráfego, no caso dos veículos a gasolina não existe um veículo em particular com o qual se efectua a comparação. Na determinação dos factores de emissão dos veículos a gasolina, foram utilizados 17 veículos diferentes (US EPA, 2002). Este facto é relevante ao longo de todo o documento, pois, e doravante, sempre que se mencionarem veículos a gasolina ter-se-á de ter em conta este facto.

1.3. Calendarização

Nesta secção apresenta-se a calendarização desta Dissertação de Mestrado.

Tarefa	Fevereiro	Março	Abril	Maiο	Junho	Julho	Agosto
I							
II							
III							
IV							
V							
VI							

Tabela 1 – Calendarização

Legenda:

- I - Revisão Bibliográfica;
- II - Cálculo e actualização dos modelos numéricos relacionados com as portagens;
- III - Cálculo e actualização dos modelos numéricos relacionados com as rotundas;
- IV - Cálculo e actualização dos modelos numéricos relacionados com os semáforos;
- V - Comparação entre veículos com motores a gasolina e diesel;
- VI - Escrita da Dissertação.

2. Revisão Bibliográfica

2.1. Portagens

Numa portagem convencional, os veículos têm de se imobilizar por completo para efectuar o pagamento, no entanto, com o aumento do volume de tráfego os veículos além da paragem para pagamento incorrem em diversos ciclos de pára-arranca até atingirem a cabina de pagamento. Este comportamento influencia quer o congestionamento, em corredores urbanos, quer a qualidade do ar na envolvente urbana.

Em 1991, em Portugal introduziu-se um sistema de pagamento electrónico conhecido por “Via Verde”, que permite o pagamento remoto da tarifa sem que seja necessária a paragem do veículo, bastando para tal que a velocidade do veículo se reduza para cerca de 60 km/h. Apesar de o pagamento electrónico ter melhorado o impacto ambiental negativo das praças de portagem (Coelho, Farias, & Roupail, 2006)(Coelho et al., 2006), continua a estar associado a elas uma interrupção de tráfego. A uma interrupção de tráfego está associado uma modificação dos padrões de consumo de combustível e de emissões de gases poluentes.

Neste trabalho foram utilizadas medições experimentais e um modelo de análise de tráfego em praças de portagem, desenvolvido pela Professora Doutora Margarida Coelho (Coelho, 2005); Coelho et al., 2006).

Os trabalhos realizados nesta área têm-se focado mais na criação e desenvolvimento de modelos de tráfego que simulem o comportamento do tráfego nas proximidades de uma praça de portagens, sendo deixado para segundo plano o impacto no meio ambiente.

Zanillo et al. (1997) utilizaram modelos matemáticos para simular o atraso e o comprimento da fila de trânsito em portagens com três tipos de pagamento: pagamento manual utilizando um operador humano, pagamento automático utilizando uma máquina que aceita as moedas e pagamento automático (tipo Via Verde). Huang e Huang (2002) simularam o efeito das praças de portagem no fluxo de tráfego em auto-estradas, para tal utilizaram o Modelo Nagel-Schreckenberg (Nagel & Schreckenberg, 1992). Outro aspecto focado no seu estudo foi até que ponto o aumento do número de vias é benéfico na manutenção do fluxo de tráfego numa auto-estrada.

Lin e Yu (2007) verificaram o efeito que as portagens tipo Via Verde têm nas concentrações de CO e partículas nas imediações de áreas influenciadas por portagens. Para a determinação das concentrações dos poluentes utilizaram o modelo de dispersão da pluma gaussiana (CAL3QHC) e na determinação das variáveis de tráfego utilizaram um modelo estocástico. Robinson e Van Aerde (1995) mostraram os possíveis benefícios de portagens ETC em termos de emissões de poluentes, consumo de combustível e tempo de viagem, usando o modelo microscópico de simulação INTEGRATION.

Uma pesquisa foi desenvolvida por Coelho (Coelho et al., 2006) cujo objectivo foi avaliar o desempenho de portagens electrónicas (tipo “Via Verde”) e portagens convencionais a partir de medições experimentais das emissões e do tráfego, para veículos com motores a gasolina. Nesta avaliação e comparação abordaram tanto as emissões poluentes (CO, NO_x, CO₂ e HC) como o consumo de combustível.

Lampe e Scott (1995) realizaram investigação nesta área ao procurarem uma relação entre portagens e emissões.

Numa tentativa de prever o nível de aceitação das portagens de cobrança electrónica, Chen, Fan e Farn (2007) integraram modelos de aceitação da tecnologia e teorias do comportamento esperado. Este último artigo mostra até que ponto os investigadores de interesse por este assunto, nos mais diversos ramos do conhecimento.

De igual modo, outros modelos falham pela falta de análise de ciclos de pára-arranca adicionais, comuns na aproximação de uma portagem assim que o volume de tráfego aumenta. O cálculo destas emissões com base em ciclos de condução pré-definidos utilizados por modelos macroscópicos como o COPERT IV (Ntziachristos & Samaras, 2000) e o Mobile6 (US EPA, 2002) (modelos da European Environment Agency e da U.S. Environmental Protection Agency, respectivamente), cujo cálculo das emissões assenta na velocidade média dos veículos, não considerando acelerações e desacelerações, isto, origina resultados menos precisos pois as interrupções de tráfego são eventos de origem episódica e a uma escala reduzida. Existe, ainda outro modelo deste género, o MOVES (US EPA, 2004), que se distingue dos dois primeiros pois as medições na base do modelo ocorreram em situação de estrada, e não em bancos de ensaio.

Com isto pode ser conduzido que a análise das emissões de veículos nas proximidades de uma praça de portagens pode ser mais precisamente caracterizada por um modelo que tenha na sua génese a medição das emissões a bordo do veículo, que entre em linha de conta com as variações de velocidade. Além disto constata-se a relativa falta de modelos de emissão para veículos com motores diesel, tão utilizados na Europa, em relação ao número de modelos que prevêem os possíveis atrasos e engarrafamentos originados por uma portagem.

2.2. Rotundas

As rotundas têm por objectivo a regulação do tráfego nas imediações de uma intersecção rodoviária. Como tal é necessário aos condutores que desacelerem, até uma velocidade que lhes permita o contornar da rotunda, e depois voltem a acelerar de volta à velocidade de cruzeiro. Em certas condições de tráfego podem, além das modificações no perfil de velocidade referidas, ainda ocorrer situações de pára – arranca. Estas situações levam à ocorrência de atrasos excessivos e à formação de fila à entrada da rotunda.

Nesta pesquisa foram utilizadas medições experimentais e um modelo de análise de tráfego e emissões em rotundas de uma pista, desenvolvido pela Professora Doutora Margarida Coelho (Coelho, 2005; Coelho et al., 2005).

A grande maioria dos trabalhos realizados nesta área foca a análise da operação e planeamento ao nível do cálculo da capacidade da rotunda, o Highway Capacity Calculator (Transportation Research Board, 2000) que oferece uma metodologia de cálculo da capacidade de rotundas.

Outros invocam outro aspecto associado às rotundas, a segurança, apresentando no seu trabalho a comparação entre rotundas e intersecções não semaforizadas e as possíveis soluções com vista ao melhoramento das condições de circulação em rotundas quer dos ciclistas, quer dos condutores de ciclomoteres (Schoon & Van Minnen, 1994). Efectuou-se um estudo comparativo onde analisaram a conversão de 23 cruzamentos semaforizados e regulados por sinais de stop em rotundas. Neste estudo estimou-se que existiu uma redução de 40% em todos os acidentes e 80% em todos os acidentes com feridos, no que concerne aos acidentes com vítimas fatais ou deixadas incapacitadas a redução foi de 90% (Persaud et al., 2001). Elbadrawi desenvolveu um simulador numérico cuja finalidade era determinar o efeito de uma rotunda no tráfego de ciclistas (através de uma via a toda a circunferência da rotunda) e no fluxo de peões nas passadeiras adjacentes à rotunda (Elbadrawi, 2000).

Hashim M. N. Al-Madani na sua pesquisa comparou a eficiência quer de rotundas quer de intersecções semaforizadas com vista a correlacionar o tempo de atraso com o aumento do fluxo de tráfego (Al-Madani, 2003).

O modelo aaSIDRA (aaTraffic Signalized & unSignalized Intersection Design and Research Aid) – Akcelik and Associates (Akcelik and Associates, 2002) – é um dos mais reconhecidos mundialmente, esta ferramenta analítica permite avaliar um largo número de parâmetros com vista à selecção da solução óptima para uma intersecção. Este modelo inclui também uma análise das emissões de poluentes e do consumo de combustível. Existem diversos estudos cuja base assenta neste modelo. No entanto, os cálculos de emissões neste modelo, em termos de cálculo de emissões, no facto de esses mesmos cálculos serem regrados por dados de condução padronizados e cujas emissões foram medidas em banco de ensaio.

Mandavilli et al. (2007) aplicaram o modelo acima referido, aaSIDRA, para a determinação das emissões de HC, NO_x, CO e CO₂. Nesse estudo é também feita a comparação entre rotundas e cruzamentos com semáforos. Várhelyi (2001) utilizou o modo “car-following” com vista à determinação dos padrões de condução; o referido método consiste na tentativa de um carro conduzido por um investigador tentar imitar o mais fielmente um automóvel conduzido por alguém que não sabe que está a ser seguido, em que a partir dos padrões de condução são estimadas as emissões de CO, CO₂ e o consumo de combustível.

Existem ainda outros modelos numéricos que ao longo do tempo foram utilizados para determinar o desempenho ambiental de rotundas entre os quais se destacam o sueco CAPCAL2 e o modelo NETSIM (Savage & Al-Sahili, 1994).

Mais uma vez, os modelos macroscópicos como o COPERT IV (Ntzachristos & Samaras, 2000) e o Mobile6 (US EPA, 2002) originam neste tipo de análise resultados menos precisos pois as interrupções de tráfego são eventos de origem episódica e a uma escala reduzida, enquanto estes modelos são construídos segundo uma norma de condução padrão que tem por base as velocidades médias na obtenção das emissões. Tal como se constatou na revisão bibliográfica efectuada para as portagens desconhecem-se estudos de impacto energético - ambiental para automóveis com motores diesel.

2.3. Semáforos de Controlo de Velocidade

Na tentativa de diminuir as velocidades e o número de acidentes em certas estradas mais perigosas, foram instalados aparelhos de controlo de velocidade. Apesar de serem eficazes a diminuir os acidentes a velocidades mais elevadas, parando os veículos que infringem os limites de velocidade impostos na zona, eles param também os veículos que circulam dentro dos limites legalmente impostos. Como tal, é de esperar um aumento dos tempos de espera e formação de fila de trânsito a montante do semáforo, e estes eventos originam o aumento das emissões de poluentes e o aumento do consumo de combustível.

O funcionamento deste tipo de semáforos explicar-se da seguinte forma: o sensor detecta a velocidade de cada veículo, enquanto essa velocidade é inferior à velocidade permitida o semáforo permanece vermelho. Assim que um veículo viole a velocidade limite é accionado o sinal amarelo por alguns segundos, seguido do vermelho, por um tempo pré-determinado e, para terminar, é ligado um verde por um tempo mínimo. Após este ciclo, uma de três situações podem ocorrer, no primeiro caso, se um veículo infringir a velocidade limite é ignorado. No segundo caso, se houver transgressão após o tempo mínimo de verde é accionado um novo ciclo. O terceiro caso implica um aumento do tempo de sinal vermelho, se o sistema for accionado por um veículo transgressor.

Neste trabalho foram utilizadas medições experimentais e um modelo de análise de tráfego, desenvolvido pela Professora Doutora Margarida Coelho (Coelho, 2005); (Coelho, Farias, & Rouphail, 2005); (Coelho, Farias, & Rouphail, 2006).

À semelhança do observado anteriormente, grande parte dos estudos nesta área centram-se na melhoria do congestionamento e em aspectos relacionados com a segurança, sendo que por vezes incorporou-se a questão ambiental.

Hallmark et al. (2000) estudaram os efeitos nas emissões de CO, através do modelo MEASURE. Foram conseguidas reduções nas emissões através da coordenação dos sinais de tráfego.

Frey et al. (2003) avaliaram os efeitos da temporização e coordenação de sinais de tráfego em situações reais. Para o efeito utilizou um aparelho para medir os poluentes à saída do escape, os poluentes eram CO, CO₂, NO e HC. Como resultado desta pesquisa conduziu-se que as emissões são substancialmente influenciadas pela aceleração após um sinal vermelho.

Tal como nas portagens e rotundas a utilização de modelos macroscópicos, como os utilizados pelas agências ambientais europeia e americana, o COPERT (Ntzechristos & Samaras, 2000) e o MOBILE (US EPA, 2002), respectivamente, não é apropriada, pela mesma justificação apontada anteriormente.

3. Metodologia

Na secção 3.1. intitulada VSP, descreve-se o conceito de Potência Específica do Veículo. As secções seguintes descrevem os modelos e as particularidades de cada interrupção de tráfego, nomeadamente secção 3.2. caracterização das portagens, secção seguinte caracterização das rotundas e, por último, secção 3.3. a caracterização dos semáforos de controlo de velocidade.

3.1. VSP

Diminuir o impacto na qualidade do ar e reduzir o congestionamento são os maiores desafios para quem trabalha na área dos transportes, no entanto para se poder obter alguma melhoria é necessário que se estimem as emissões de poluentes. Esta tarefa é complexa e requer a utilização conjunta de modelos que, na sua natureza, poderão não ser compatíveis com este estudo. A grande maioria dos modelos de transportes produz como resultado a velocidade média e a distância percorrida pelos veículos. Estas saídas são depois aplicadas a modelos de emissões baseados nas velocidades médias dos veículos, como o COPERT 4 (Ntzachristos & Samaras, 2000) e o MOBILE 6 (US EPA, 2002) para produzirem as emissões num determinado troço.

No entanto, as mais recentes pesquisas utilizando um dispositivo portátil de monitorização de emissões, também conhecido do inglês por PEMS (“Portable Emission Monitoring System”), indicam que os perfis de emissão são eventos cuja ocorrência varia em períodos de tempo muito pequenos (Frey et al., 2006). Períodos de elevadas emissões coincidem com oscilação de velocidade, particularmente em períodos de forte aceleração ou velocidade elevada. Isto implica que as emissões de poluentes estão ligadas à carga a que o motor do veículo está sujeito, isto é ao perfil de velocidade instantâneo (segundo a segundo) e respectiva aceleração. O parâmetro VSP, do inglês “Vehicle Specific Power” (Potência Específica do Veículo), relaciona a actividade do veículo com o nível de emissões. Por actividade do veículo entenda-se perfil de velocidade e aceleração bem como nível de inclinação da estrada onde circula. O conceito de VSP está também relacionado com a carga a que o motor do veículo está sujeito. O VSP é dado pela expressão:

$$VSP = v \times [1,1a + 9,81(\sin(\text{atan}(\text{Declive}))) + 0,132] + 0,000302 \times v^3;$$

onde v (m/s) representa a velocidade, a (m/s²) representa a aceleração e Declive representa o Declive (°) do terreno (Frey et al. 2006). Este método representa a potência requerida ao motor no que diz respeito à energia cinética, inclinação da estrada, arrasto aerodinâmico e resistência de rolamento.

Todos os resultados obtidos neste trabalho, no que concerne ao cálculo de emissões, foram obtidos através da metodologia VSP. A metodologia VSP define 14 modos tais que a média do valor das emissões em cada modo é estatisticamente diferente. Os modos 1 e 2 confinam os

valores de VSP negativos caracterizados por desacelerações ou percursos com descidas. O modo 3 inclui as emissões aquando da paragem, enquanto os modos de 4 a 14 indicam valores linearmente crescentes de VSP. É importante referir que valores elevados de VSP podem ser alcançados através de uma ou uma combinação dos seguintes factores: velocidade elevada, uma aceleração forte e/ou uma subida acentuada.

Na Tabela 2, estão representadas 14 modos e os respectivos valores de VSP.

Modo VSP	Limites (kW/t)
1	$VSP < -2$
2	$-2 \leq VSP < 0$
3	$0 \leq VSP < 1$
4	$1 \leq VSP < 4$
5	$4 \leq VSP < 7$
6	$7 \leq VSP < 10$
7	$10 \leq VSP < 13$
8	$13 \leq VSP < 16$
9	$16 \leq VSP < 19$
10	$19 \leq VSP < 23$
11	$23 \leq VSP < 28$
12	$28 \leq VSP < 33$
13	$33 \leq VSP < 39$
14	$VSP \geq 39$

Tabela 2 - Definição dos modos VSP de acordo com os valores de VSP (Frey, et al. , 2006)

Após a definição dos modos VSP e a sua alocação existe a necessidade de associar a cada modo um factor de emissão, sendo que o somatório de todos esses factores de emissão num determinado intervalo de tempo dará as emissões totais nesse espaço temporal.

Como referido anteriormente este estudo incide em automóveis ligeiros movidos a gasóleo, sendo que os factores de emissão específicos para cada modo VSP foram obtidos num trabalho efectuado previamente (Coelho et al. , 2008). Os dois veículos utilizados no estudo são um automóvel ligeiro comercial EURO II (Citroen Jumper 2.5D), o outro é um familiar EURO III (Skoda Octavia TDI 90HP). As cilindradas dos veículos são, respectivamente, 2,5l e 1,9l. As normas EURO II e EURO III referem-se aos limites de emissões permitidas nos países da UE para veículos, sendo os limites de emissões cada vez mais apertados como apresentado na Tabela 3.

Norma	Entrada em Vigor	Tipo	CO	HC	NO_x	HC+NO_x	PM
Euro I	1992		2,72			0,97	0,19*
Euro II	1997	Gasolina	2,2			0,5	
		Diesel	1,0			0,7	0,08
Euro III	2000	Gasolina	2,3	0,2	0,15	-	-
		Diesel	0,64	-	0,5	0,56	0,05
Euro IV	2005	Gasolina	1,0	0,1	0,08	-	-
		Diesel	0,5	-	0,25	0,3	0,025
Euro V	2008	Gasolina	1,0	0,075	0,06	-	0,005
		Diesel	0,5	-	0,2	0,25	0,005

Tabela 3 – Normas de emissão de poluentes para veículos ligeiros (g/km) na União Europeia (* - apenas aplicável a veículos a diesel) (Direcção Geral do Ambiente da Comissão Europeia, 2008)

Nas Tabela 4 e 5 são apresentados os factores de emissão para os dois veículos, sendo de acrescentar que apenas o veículo EURO II apresenta factores de emissão para as PM (partículas) (Coelho et al., 2008).

Octavia					
Modo VSP	Consumo Combustível	CO₂	CO	NO_x	HC
	(g/s)	(g/s)	(mg/s)	(mg/s)	(mg/s)
1	0,065	0,206	0,029	1,294	0,135
2	0,193	0,608	0,071	2,623	0,112
3	0,231	0,728	0,135	3,377	0,112
4	0,477	1,504	0,245	6,047	0,169
5	0,743	2,343	0,289	9,364	0,198
6	1,042	3,286	0,693	12,533	0,229
7	1,332	4,200	0,583	15,481	0,236
8	1,565	4,935	0,639	17,818	0,233
9	1,768	5,573	0,613	21,315	0,242
10	1,986	6,262	1,009	32,526	0,276
11	2,346	7,396	1,147	55,745	0,366
12	2,777	8,757	0,957	83,510	0,404
13	3,129	9,865	0,768	96,899	0,396
14	3,286	10,360	0,733	100,746	0,422

Tabela 4 - Definição dos factores de emissão para o Octavia (Coelho et al., 2009)

Jumper						
Modo VSP	Consumo Combustível	CO₂	CO	NO_x	HC	PM
	(g/s)	(g/s)	(mg/s)	(mg/s)	(mg/s)	(mg/s)
1	0,090	0,285	0,025	1,537	0,027	0,256
2	0,265	0,836	0,038	3,921	0,048	0,756
3	0,338	1,065	0,037	6,645	0,044	0,838
4	0,807	2,545	0,082	9,408	0,091	2,419
5	1,375	4,336	0,160	15,970	0,130	3,108
6	1,946	6,136	0,272	25,388	0,149	3,517
7	2,602	8,204	0,436	35,57	0,246	4,795
8	3,139	9,896	0,541	43,291	0,436	6,085
9	3,574	11,270	0,600	49,051	0,680	7,421
10	3,914	12,339	0,626	51,839	0,972	9,385
11	4,212	13,281	0,705	64,463	0,815	10,019

Tabela 5 - Definição dos factores de emissão para a Jumper (Coelho et al., 2009)

É visível que da Tabela 4 para a Tabela 5, o número de factores de emissão diminuiu para ultrapassar tal problema recorreram-se a ferramentas estatísticas, uma regressão linear, para se obterem os factores de emissão em falta. Este estudo apenas incidiu sobre os poluentes que apresentavam um comportamento compatível com a ferramenta, isto é, cujo comportamento é o mais linear possível. Tal não ocorre para o poluente CO pois as suas emissões são muito influenciadas pelas mudanças de velocidade. Nestas condições apenas se enquadravam CO₂, NO_x, PM e consumo de combustível. Em seguida são apresentados as quatro equações de linearização, com a respectiva exactidão da linha de tendência:

Consumo de combustível: $y = 0,4618x - 0,7471$; $R^2 = 0,98$;

CO₂: $y = 1,4561x - 2,3549$; $R^2 = 0,98$;

NO_x: $y = 6,5536x - 11,494$; $R^2 = 0,97$;

PM: $y = 1,0191x - 1,6961$; $R^2 = 0,97$.

A partir destas equações foram calculados os factores de emissão para os restantes modos VSP, os quais são apresentados na Tabela 6.

Jumper				
Modo VSP	Consumo Combustível	CO₂	NO_x	PM
	(g/s)	(g/s)	(mg/s)	(mg/s)
12	4,795	15,118	67,239	10,533
13	5,257	16,574	73,792	11,552
14	5,719	18,030	80,346	12,571

Tabela 6 – Factores de emissão Citroen Jumper obtidos através de regressão linear

Na Tabela 7, são apresentados os factores de emissão correspondentes aos veículos a gasolina.

Gasolina				
Modo VSP	CO₂	CO	NO_x	HC
	(g/s)	(mg/s)	(mg/s)	(mg/s)
1	1,67	7,87	0,90	0,45
2	1,45	3,90	0,62	0,25
3	1,13	3,34	0,34	0,40
4	2,23	8,33	1,17	0,43
5	2,90	10,9	1,70	0,53
6	3,50	17,0	2,36	0,70
7	4,10	20,0	3,10	0,82
8	4,60	29,2	4,23	0,97
9	5,10	35,5	5,06	1,11
10	5,60	55,0	5,86	1,44
11	6,50	113	7,62	2,06
12	7,50	207	12,1	3,37
13	9,00	441	15,4	4,85
14	10,00	882	17,8	10,9

Tabela 7 – Factores de emissão dos veículos a gasolina

3.2. Caracterização de Tráfego – Portagem

Diversos parâmetros são necessários para o cálculo das emissões dos veículos, essas variáveis são fluxo de tráfego nas imediações da portagem, tempo de pagamento na cabina e a dinâmica do próprio veículo.

Para estimar o comprimento da fila que se forma junto às cabinas de pagamento, o tempo dispendido pelos condutores a pagar a portagem é um factor crítico. Variações ligeiras neste factor implicam variações significativas no comprimento da fila de veículos. (Coelho, 2005)

Para que exista uniformidade na comparação dos cenários, foi definido anteriormente que a região de influência da praça de portagens compreende a soma das distâncias de desaceleração inicial desde a velocidade de cruzeiro, da distância desde o início da fila de trânsito até à cabina de pagamento e da distância cujo veículo necessitaria para voltar à velocidade de cruzeiro. Os tempos e as distâncias de desaceleração e aceleração de e para a velocidade de cruzeiro foram obtidos experimentalmente (Coelho, 2005; Coelho et al. , 2006).

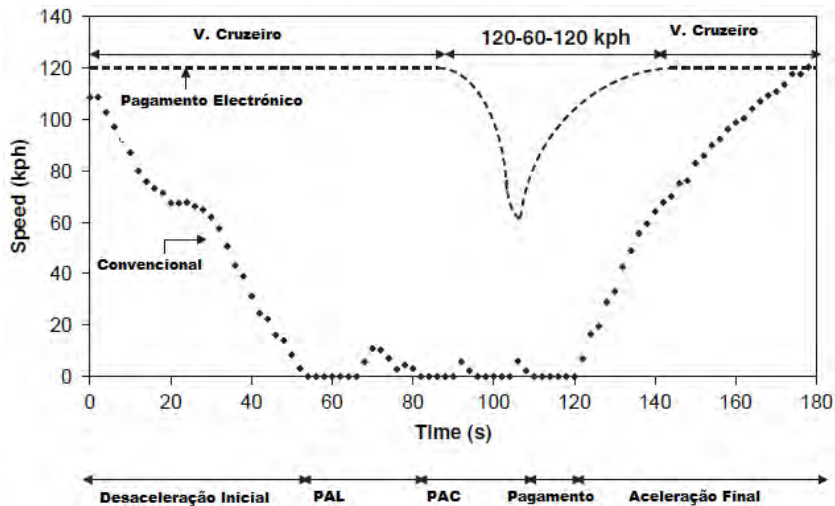


Figura 4 – Perfil de velocidade numa portagem convencional e portagem de pagamento electrónico (PAL e PAC representam, respectivamente, o pára-arranca longo e o pára-arranca curto) (Coelho, 2005)

Da caracterização experimental dos ciclos de pára-arranca foi possível correlacionar o tamanho de fila de veículos medida com o número de ciclos de paragem e arranque por respectivo veículo. Foi ainda demonstrada a existência de dois tipos de pára-arranca distintos: o pára-arranca curto e o pára-arranca longo. Numa situação real, o pára-arranca longo é utilizado nos estágios iniciais de progresso na fila de tráfego e o pára-arranca curto é utilizado na aproximação final à zona de pagamento. (Coelho, 2005).

Parâmetros	PAL	PAC	120 a 0 km/h	0 a 120 km/h
Velocidade Máxima (km/h)	8,6	5,4	120	120
Distância de aceleração (m)	4,5	1,2	-	832
Distância sem aceleração (m)	5,3	2,6	-	-
Distância de desaceleração (m)	4,5	1,2	300	-
Tempo de aceleração (s)	3,8	1,5	-	36
Tempo sem aceleração (s)	2,3	1,7	-	-
Tempo de desaceleração (s)	3,8	1,6	20	-
Tempo de desaceleração (s)	9,7	6,8	-	-

Tabela 8 – Características típicas em termos de distâncias e tempos nos diferentes tipos de condução numa portagem convencional (Coelho, 2005)

Foi provado que o número máximo de veículos que uma fila numa portagem pode formar é de 20, sendo que poderão formar-se filas com mais automóveis no entanto as suas origens são outras que não a presença da própria portagem. O volume de controlo compreende o momento

desde que o vigésimo automóvel inicia a desaceleração, até que esse veículo conclua a aceleração de volta à velocidade de cruzeiro, já à saída da portagem.

3.3. Caracterização de Tráfego – Rotunda

Tal como no caso da portagem, para o cálculo das emissões dos veículos nas rotundas, várias variáveis foram previamente obtidas. Essas variáveis são: o fluxo de tráfego de entrada na rotunda (Q_{in}), o fluxo de tráfego que entra em conflito com o Q_{in} (Q_{conf}) e por último o perfil de velocidade dos veículos.

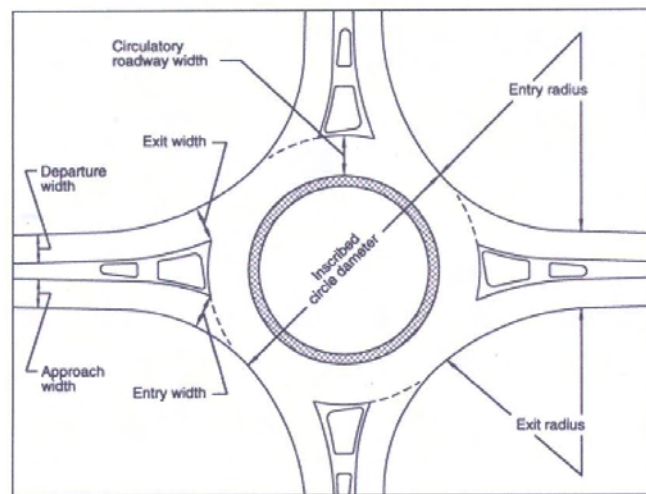


Figura 5 – Principais características geométricas de uma rotunda (Coelho, 2005)

Do ponto de vista da distinção dos perfis de velocidade existem três zonas a considerar: a zona de aproximação, a zona de circulação e a zona de saída. Estas três zonas ocorrem de maneira consecutiva de acordo com um veículo que se aproxime de uma rotunda (Coelho, 2005; Coelho et al. , 2006). Da soma destas três zonas obtém-se a região de influência da rotunda.

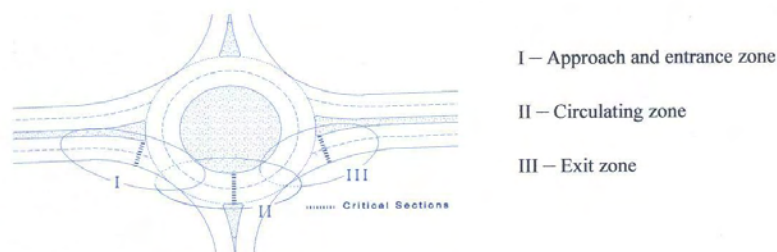


Figura 6 – Três zonas da região de influência de uma rotunda (Coelho, 2005)

Foram reconhecidos três perfis de velocidade distintos de acordo com o nível de congestionamento na zona de aproximação.

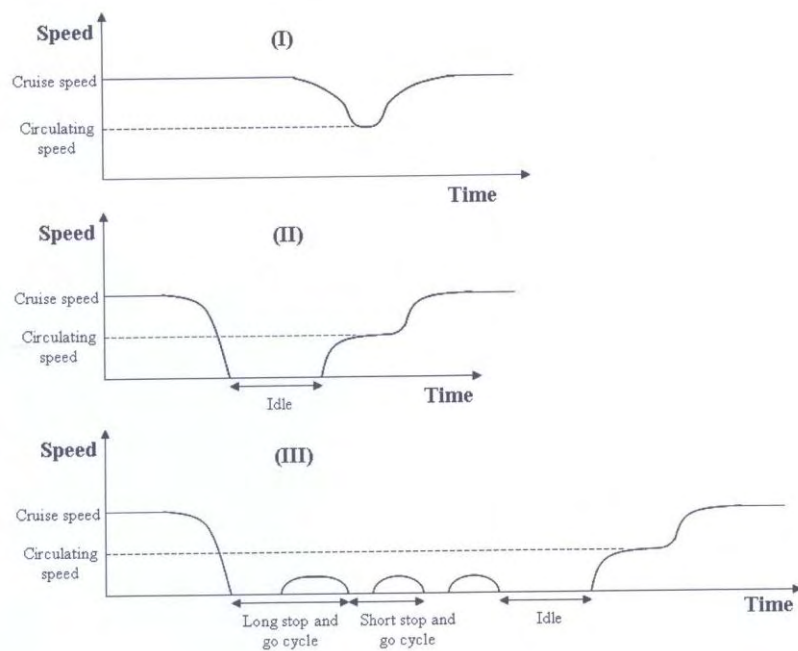


Figura 7 – Perfis de velocidade típicos numa rotunda (Coelho, 2005)

A Figura 7 (I) representa o perfil de velocidade de um veículo que pára na aproximação da rotunda, este veículo apenas reduz a velocidade o suficiente para que consiga negociar a geometria da rotunda e volta a acelerar de volta à velocidade de cruzeiro.

A Figura 7 (II) representa, por seu turno, um veículo que é forçado a parar por uma vez, enquanto aguarda a sua oportunidade de entrar na rotunda. Após isto acelera até à velocidade com que circula na rotunda, acelerando de novo, à saída da rotunda, até à velocidade de cruzeiro.

A terceira figura deste conjunto, a Figura 7 (III) representa um veículo forçado a vários ciclos de pára-arranca, sendo a parte final deste perfil em tudo semelhante ao perfil anterior.

Foi possível correlacionar o número de ciclos de pára-arranca com o número de veículos na fila e foram observados dois tipos de pára-arranca: um curto e um longo. A distinção entre ambos é o número de metros percorridos no ciclo, sendo que é considerado pára-arranca longo um ciclo com mais de 10 metros percorridos.

Parâmetros	PAL	PAC
Tempo de cada ciclo (s)	8,2	4,1
Tempo sem acelerar antes de cada ciclo (s)	5,2	4,5
Tempo de espera à entrada da rotunda (s)	4,7	4,7
Distância de cada ciclo (m)	15,1	5,2
Velocidade Máxima (km/h)	6,6	3,8

Tabela 9 – Caracterização de cada ciclo de pára-arranca numa rotunda (Coelho, 2005)

Chegou-se à conclusão que os pára-arranca tanto desta interrupção de tráfego como da anterior (portagens) são semelhantes (Coelho, 2005).

O número máximo de veículos por fila nesta análise é de 20, sendo que poderão formar-se filas com mais automóveis no entanto as suas origens são outras que não a presença da rotunda. O volume de controlo o momento desde que o vigésimo automóvel inicia a desaceleração, até que esse veículo conduza a aceleração de volta à velocidade de cruzeiro, já à saída da rotunda.

3.4. Caracterização de Tráfego – Semáforos de Controlo de Velocidade

Tal como referido na secção 2.3., existem três tipos de modos de funcionamento associados a estes sinais de tráfego, sendo que o processo inicial é comum aos três.

A velocidade de cada veículo é detectada individualmente a montante do sinal, se a velocidade for inferior à velocidade limite para a qual é accionado, o sinal permanece verde. Se o ciclo for activado por um veículo infractor no sinal surgirá a luz amarela por uns instantes, seguida da luz vermelha e de uma luz verde, cuja duração é limitada.

Durante esse tempo mínimo de verde e dependendo da programação do controlador do sinal de tráfego, qualquer violação pode ser ignorada (Caso A), pode dar início a um novo ciclo, assim que o tempo mínimo de verde cesse (Caso B). O Caso C não é mais que uma variação do caso A, onde caso ocorra uma infracção durante um período de tempo após a infracção anterior, o tempo de sinal vermelho é então estendido por um intervalo de tempo fixo por cada nova infracção. Neste estudo apenas são focados os Casos A e C.

As principais variáveis a definir são fluxo de tráfego, os perfis de velocidade e as definições do sinal de tráfego.

Os parâmetros necessários ao cálculo das variáveis são intervalos de tempo dos sinais de tráfego (tempo vermelho, amarelo e verde), volume de tráfego e distribuição de velocidades.

4. Resultados e sua Discussão

Neste capítulo são apresentados os resultados relativos às emissões poluentes nas três interrupções de tráfego. Esses resultados são apresentados quer para o veículo Skoda Octavia quer para o veículo Citroen Jumper. É apresentada, ainda, uma comparação entre veículos diesel desta análise e os veículos a gasolina de uma análise anterior (Coelho, 2005).

4.1. Portagens

Nesta secção foi analisado o aumento das emissões associado a portagens convencionais em comparação com portagens com o sistema Via Verde e com a situação de inexistência de portagens (veículo que circula sempre à velocidade cruzeiro). Essa análise da variação do nível de emissões é realizada para um aumento do número de automóveis na fila. De seguida verificou-se a contribuição de cada modo de aproximação à portagem convencional, os modos são obtidos dividindo o perfil de velocidades típico na aproximação a uma portagem, a desaceleração principal, o pára-arranca longo, o pára-arranca curto, o tempo de pagamento e a aceleração principal de volta à velocidade de cruzeiro. Por último, é realizada uma comparação entre veículos a gasolina e veículos a gasóleo.

4.1.1. Skoda Octavia

Nas Figuras 8 e 9, estão representadas as diferenças entre as emissões numa portagem convencional e uma portagem de pagamento electrónico. Como referido anteriormente essa diferença é representada em relação ao número de veículos na fila, sendo o mínimo 1 e o máximo 20, tal como justificado na secção 3.2. Na Figura 10, está apresentada a razão entre portagem convencional e portagem de pagamento electrónico.

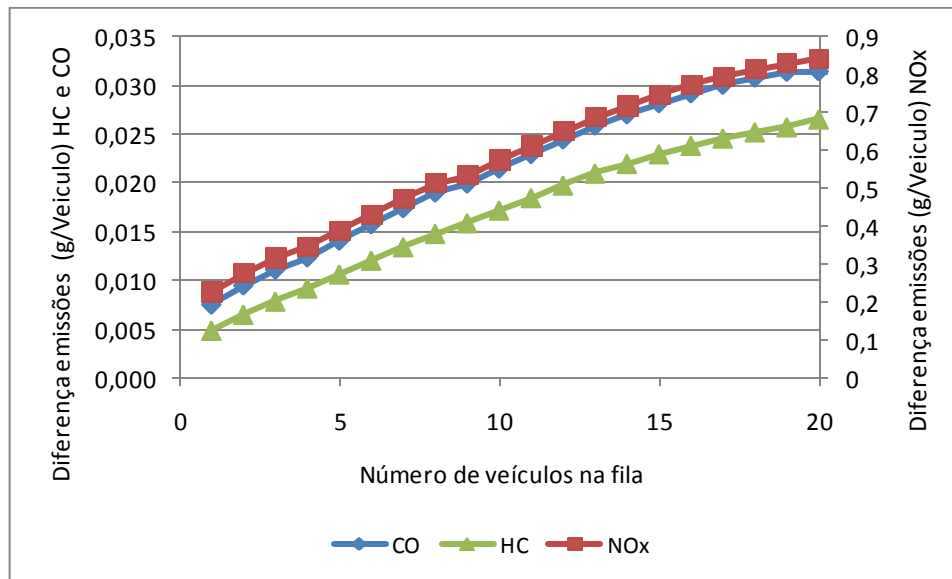


Figura 8 – Diferença entre as emissões por veículo numa portagem convencional e numa portagem de pagamento electrónico para os poluentes CO, NO_x e HC

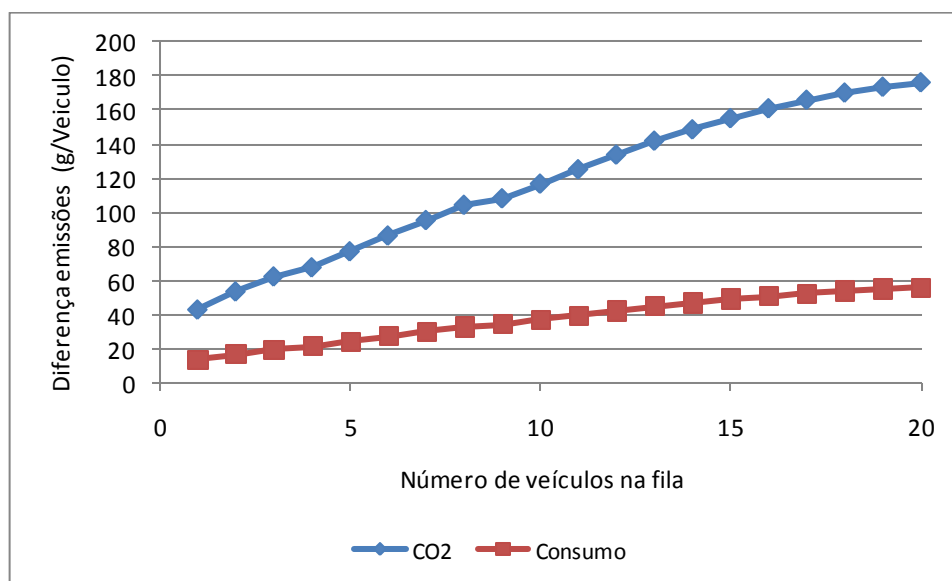


Figura 9 - Diferença entre as emissões por veículo numa portagem convencional e portagem de pagamento electrónico para os poluentes CO₂ e consumo de gasóleo

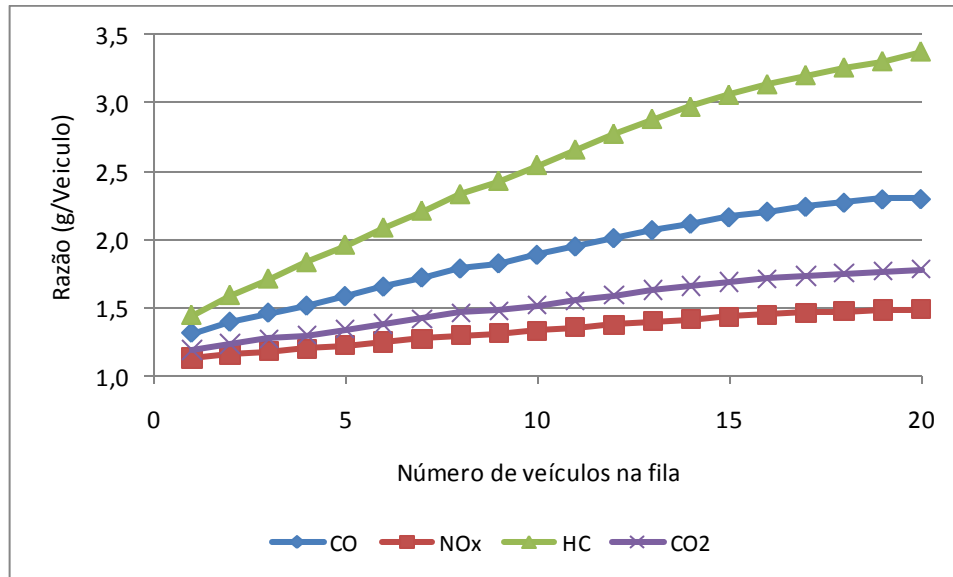


Figura 10 - Razão entre as emissões numa portagem convencional e numa portagem de pagamento electrónico para todos os poluentes

Posto isto, foi iniciada a apresentação dos resultados referentes à comparação entre portagem convencional e a inexistência de portagem. Sendo que os resultados apresentados num formato idêntico à comparação entre portagem convencional e portagem de pagamento electrónico. A Figura 11 e 12 indicam a diferença entre portagem convencional e a ausência de portagem, enquanto a Figura 13 relaciona-as recorrendo a uma razão entre portagem convencional e ausência de portagem.

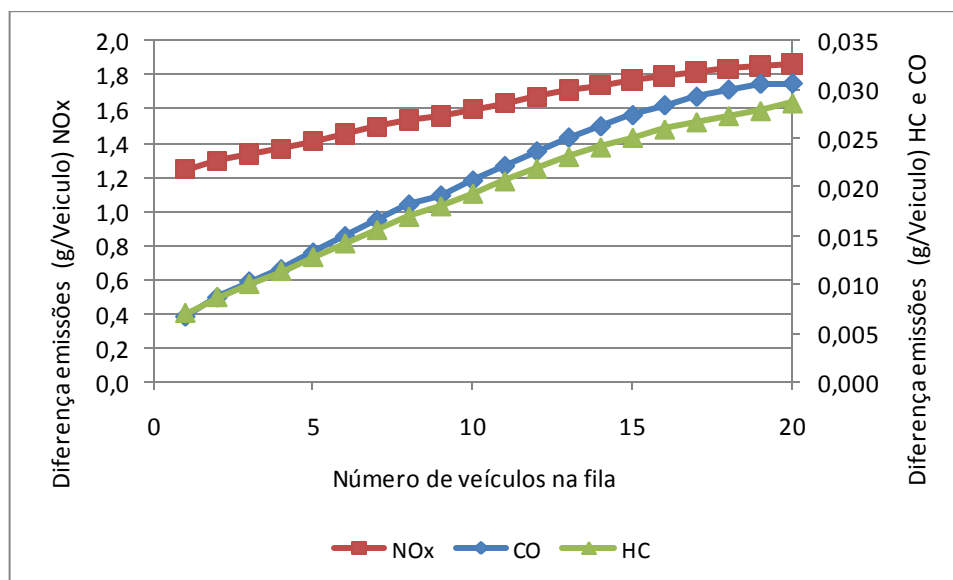


Figura 11 - Diferença entre as emissões por veículo numa portagem convencional e na ausência de portagem para os poluentes CO, NO_x e HC

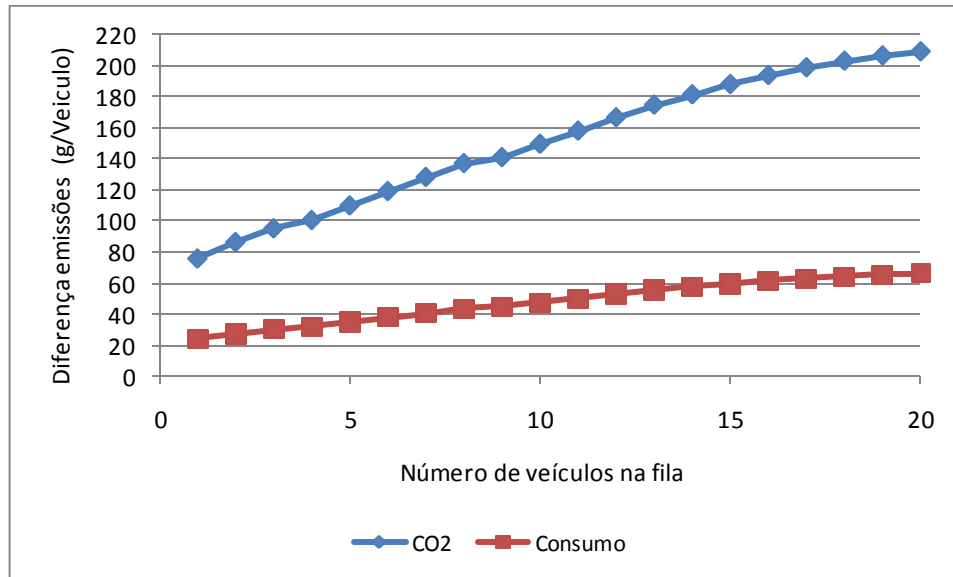


Figura 12 - Diferença entre as emissões por veículo numa portagem convencional e na ausência de portagem para o poluente CO₂ e consumo de combustível

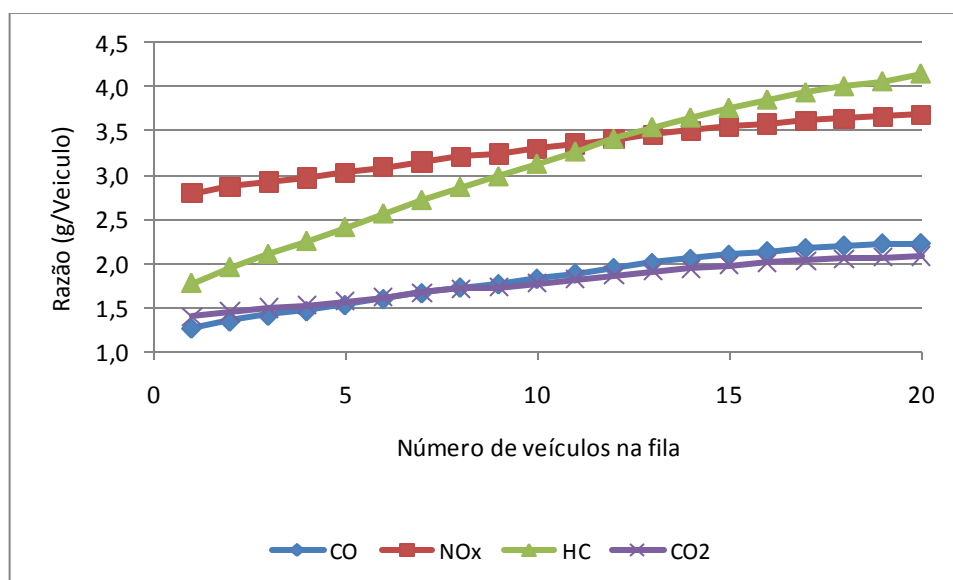


Figura 13 – Razão entre as emissões numa portagem convencional e na ausência de portagem para todos os poluentes e consumo de combustível

Observando a Figura 10, conduziu-se que as curvas de crescimento das emissões dos três poluentes em causa são muito semelhantes. O valor do aumento das emissões causadas por uma portagem convencional por comparação com uma de sistema electrónico é de 0,005 g/veículo para emissões de HC, 0,0057 g/veículo para CO e 0,22 g/veículo para o NO_x, isto para uma fila de um veículo. Estes valores aumentam para 0,026 g/veículo, 0,031 g/veículo e 0,84 g/veículo, respectivamente para o HC, CO e NO_x, com 20 veículos na fila.

Da Figura 9 foi concluído que o aumento das emissões de CO₂, associado à presença de uma portagem convencional e por comparação com uma portagem de pagamento electrónica, é de 42 g/veículo, para uma fila de um veículo, para 175 g/veículo, para uma fila de 20 veículos. Em

termos de consumo de combustível esse aumento é de 13 g/veículo para 55 g/veículo, respectivamente para 1 e 20 veículos na fila.

A Figura 10 permite observar a razão do aumento das emissões dos poluentes e permite, ainda, a comparação entre os poluentes, ficando patente que as emissões de HC são as mais prejudicadas pela presença da portagem convencional em relação a uma portagem electrónica, sendo o aumento de 145% para 1 veículo na fila e 340% para 20 veículos na fila.

O aumento das emissões, para uma fila de 1 veículo, foi de 131% para o CO, 113% para o NO_x e 119% para o CO₂. No entanto, para uma fila de 20 veículos, esse aumento vai ser de 230% para o CO, 149% para o NO_x e 178% para o CO₂, isto se se contabilizarem 20 veículos na fila. A ter em atenção de a razão de aumento do consumo de combustível é igual à razão de aumento das emissões de CO₂, pois existe uma relação directa entre o consumo de combustível e as emissões de CO₂.

As Figuras 11 e 12 dão conta do aumento nas emissões de poluentes associada a uma portagem convencional por comparação com a ausência de portagem. Para uma fila de 1 veículo temos um aumento de 0,007 g/veículo para os poluentes HC e CO e 1,2 g/veículo para NO_x. Com 20 veículos na fila esses valores de emissões vão ser de 0,03 g/veículo para o CO, 0,028 g/veículo para o HC e para o NO_x vão ser de 1,86 g/veículo.

Atentando às emissões de CO₂ constata-se que as emissões aumentam de 75 g/veículo para 208 g/veículo, com o aumento da fila de 1 para 20 veículos. O consumo de gasóleo segue a mesma evolução aumentando de 24 g/veículo para 66 g/veículo, nos termos anteriores.

À semelhança da Figura 10, a Figura 13 permite a comparação entre os poluentes, sendo os limites 1 e 20 veículos na fila, respectivamente, o aumento das emissões é o seguinte: NO_x, 279% e 368%; HC, 177% e 410%; CO, 127% e 222%; CO₂, 139% e 208%. De destacar a elevada penalização que as emissões de HC sofrem para, 20 veículos na fila, mais de 4 vezes o valor de emissões e do mesmo modo as emissões de NO_x, que mesmo com um único veículo na fila já aumentam em 2,79 vezes.

Modos de condução	NO _x (g/veículo)		HC (g/veículo)		CO ₂ (g/veículo)		CO (g/veículo)		FC (g/veículo)	
Desaceleração Principal	0,045	1,8%	0,002	7,7%	9,58	2,4%	0,001	2,6%	3,04	2,4%
Pára-arranca Longo	0,356	13,9%	0,011	31,5%	79,5	19,8%	0,013	24,8%	25,2	19,8%
Pára-arranca Curto	0,296	11,7%	0,009	26,1%	63,9	15,9%	0,011	21,3%	20,2	15,9%
Tempo de Pagamento	0,050	2%	0,001	4,5%	10,9	2,7%	0,002	3,6%	3,46	2,7%
Aceleração Principal	1,807	70,6%	0,011	30,2%	237	59,2%	0,026	47,7%	75,2	59,2%
Soma Portagem Convencional	2,557	100%	0,037	100%	401	100%	0,055	100%	127	100%
Portagem Pagamento Electrónico	1,716	-	0,011	-	225	-	0,024	-	71,4	-
Ausência de Portagem	0,694	-	0,009	-	192	-	0,024	-	61,1	-

Tabela 10 - Comparação entre os diversos modos de condução e os diferentes tipos de portagens

Da Tabela 10, a reter ficam o facto de a aceleração final de volta à velocidade de cruzeiro ser um dos maiores contribuintes para o aumento das emissões, em especial nas emissões de NO_x onde 70,6% ficam à responsabilidade deste modo. No entanto, os ciclos de pára-arranca também são fortes contribuintes, como é o caso do HC onde 57,6% são da sua responsabilidade, uma percentagem superior à da aceleração final (30,1%). O CO é um caso específico pois as percentagens tanto da aceleração final (47,7%) como dos ciclos de pára-arranca (46,1%) são muito semelhantes. Os pára-arranca longos são mais poluidores que os pára-arranca curtos.

Passando a comparar os valores da Tabela 9 com os valores das emissões obtidos anteriormente para veículos a gasolina pelo mesmo método (Coelho, 2005).

Analisando o poluente NO_x, nas três situações, conclui-se que as suas emissões são em qualquer dos casos para o veículo com motor a diesel (Skoda Octavia). Já para o CO e o HC o resultado é o oposto, pois as suas emissões menores no veículo com motor a diesel.

Para o CO₂ a situação é ambígua, pois para portagens com método de pagamento convencional o veículo a diesel obtém menores emissões, mas nos outros dois casos a situação é inversa, sendo este tipo de veículo mais poluidor. A comparação foi realizada com os veículos a gasolina referenciado em Coelho (2005), cujos factores de emissão foram publicados em Ferry (2006). Esta situação torna-se clara assim que se analisam os factores de emissão de CO₂ para cada modo VSP de cada tipo de veículo. Pode-se verificar então que acima do modo VSP 7 os factores de emissão associados a veículos a diesel têm um valor superior aos factores de emissão dos veículos a gasolina (Tabela 11), além disso, e como é visível na figura que se segue, quer para portagens de pagamento electrónico quer para a situação na qual não existem portagens, os modos VSP aí desenvolvidos são superiores a 7. Daí que nestas duas situações específicas as emissões de CO₂ para veículos a diesel sejam superiores às emissões correspondentes para veículos a gasolina.

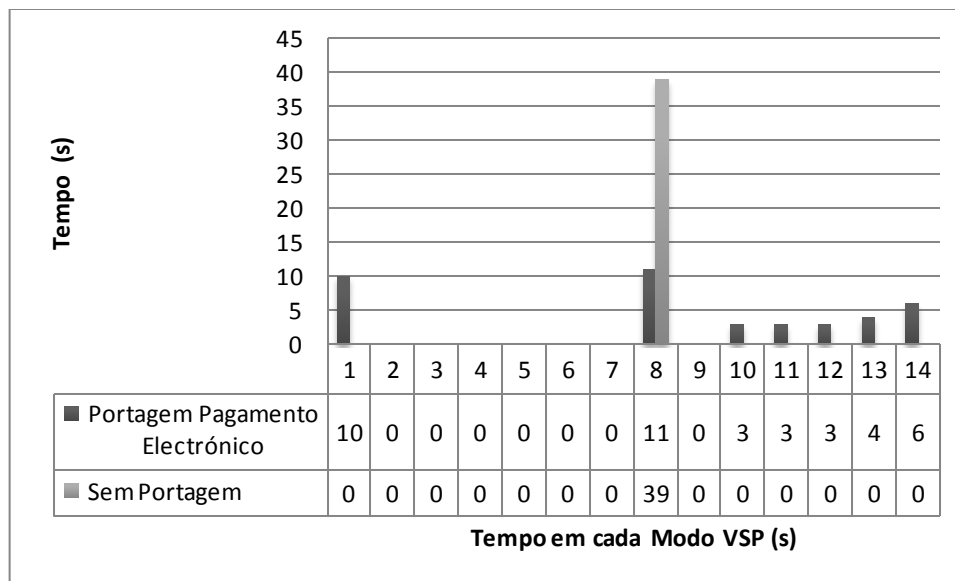


Figura 14 – Tempo dispendido em cada modo VSP

Modo VSP	Skoda Octavia	Veículo a gasolina
1	0,21	1,67
2	0,61	1,45
3	0,73	1,13
4	1,50	2,23
5	2,34	2,90
6	3,29	3,50
7	4,20	4,10
8	4,94	4,60
9	5,57	5,10
10	6,26	5,60
11	7,40	6,50
12	8,76	7,50
13	9,87	9,00
14	10,36	10,00

Tabela 11 – Factores de emissão de CO₂

4.1.2. Citroen Jumper

À semelhança do que foi feito para o veículo Skoda Octavia, foram analisados os resultados obtidos para o Citroen Jumper. Para tal foram replicados os gráficos obtidos para o Skoda Octavia com o intuito de facilitar uma possível análise comparativa. De destacar a não inclusão de valores de emissões de poluentes referentes ao HC e CO devido ao facto explicado na secção 3.1.

Nestas Figuras 15 e 16 estão representadas as diferenças entre as emissões numa portagem convencional e uma portagem de pagamento electrónico. Na Figura 17 está apresentada a razão entre portagem convencional e portagem de pagamento electrónico.

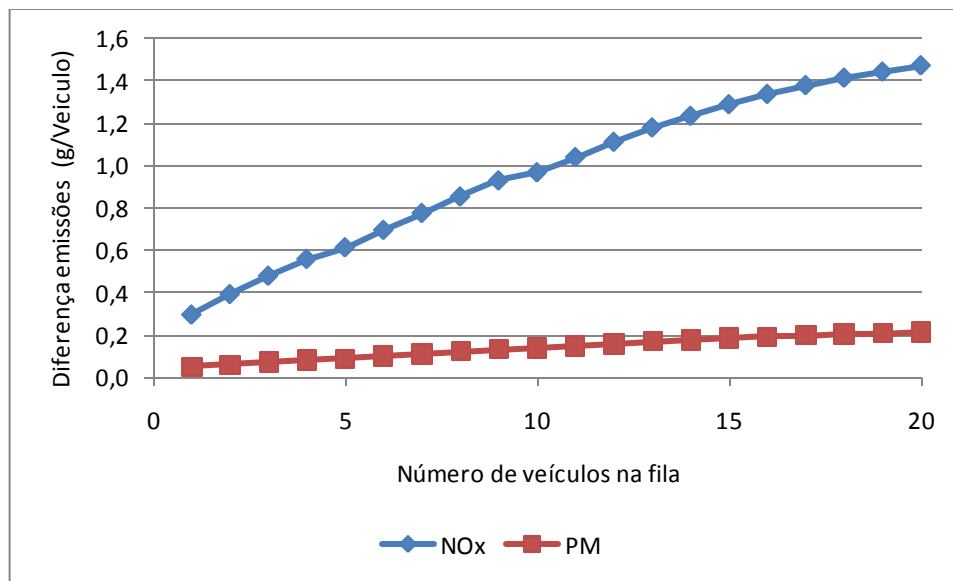


Figura 15 - Diferença entre portagem convencional e portagem de pagamento electrónico para os poluentes NO_x e PM

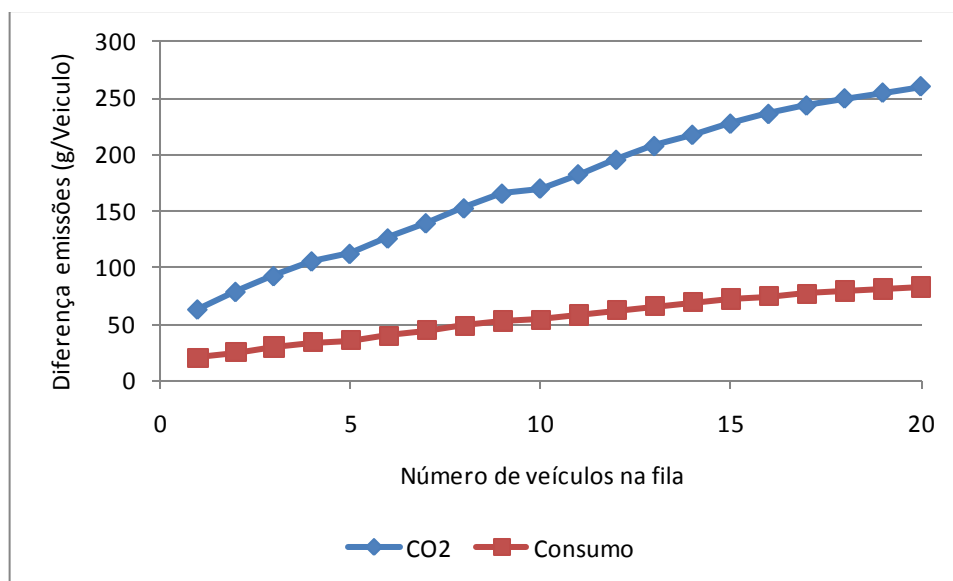


Figura 16 - Diferença entre portagem convencional e portagem de pagamento electrónico para o poluente CO₂ e consumo de combustível

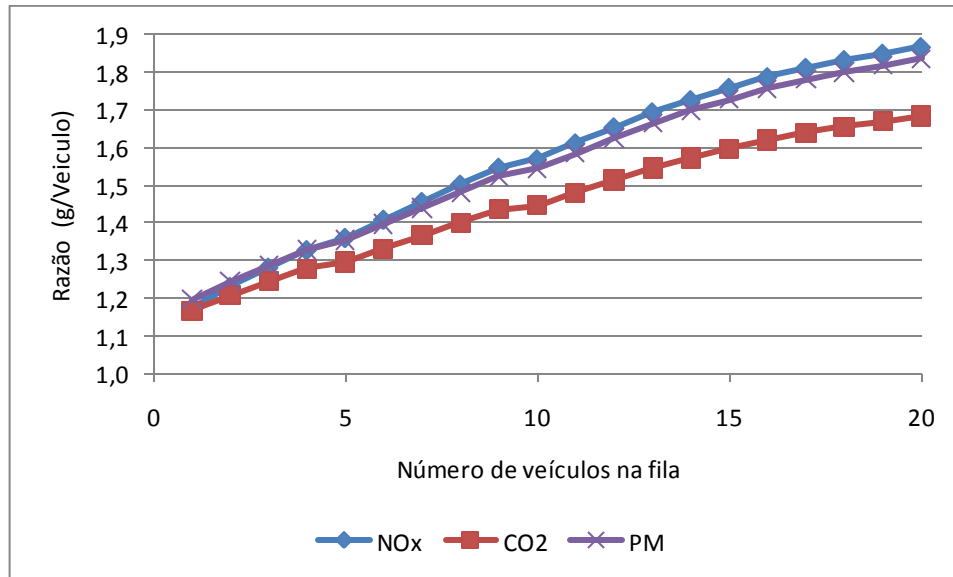


Figura 17 - Razão entre portagem convencional e uma portagem de pagamento electrónico para todos os poluentes

Apresentam-se agora os resultados referentes à comparação entre portagem convencional e a inexistência de portagem, para o Citroen Jumper. Sendo que os resultados apresentados num formato idêntico à comparação entre portagem convencional e portagem de pagamento electrónico. As Figuras 18 e 19 indicam a diferença entre portagem convencional e a ausência de portagem, ao passo que a Figura 20 relaciona-as recorrendo a uma razão entre portagem convencional e ausência de portagem.

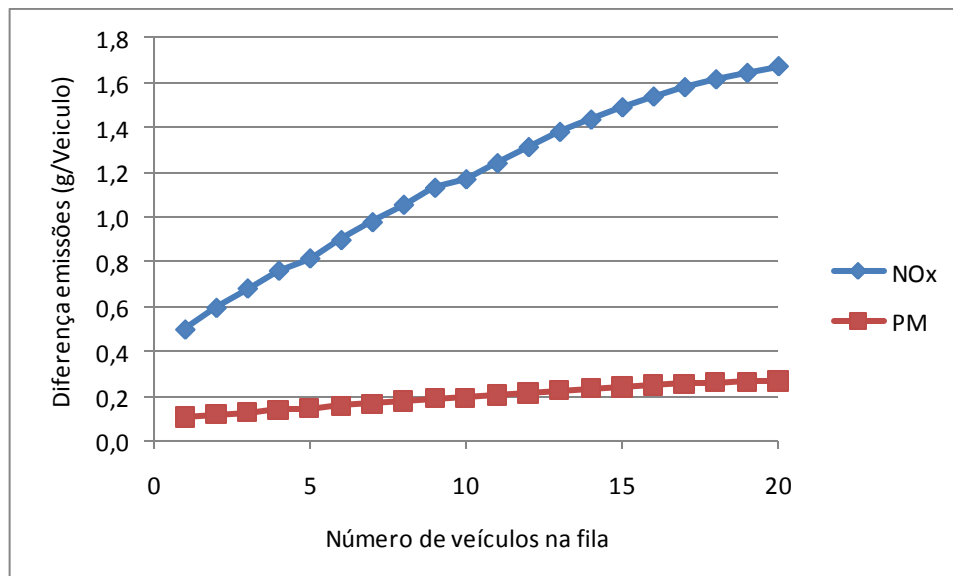


Figura 18 - Diferença entre portagem convencional e ausência de portagem para os poluentes NO_x e PM

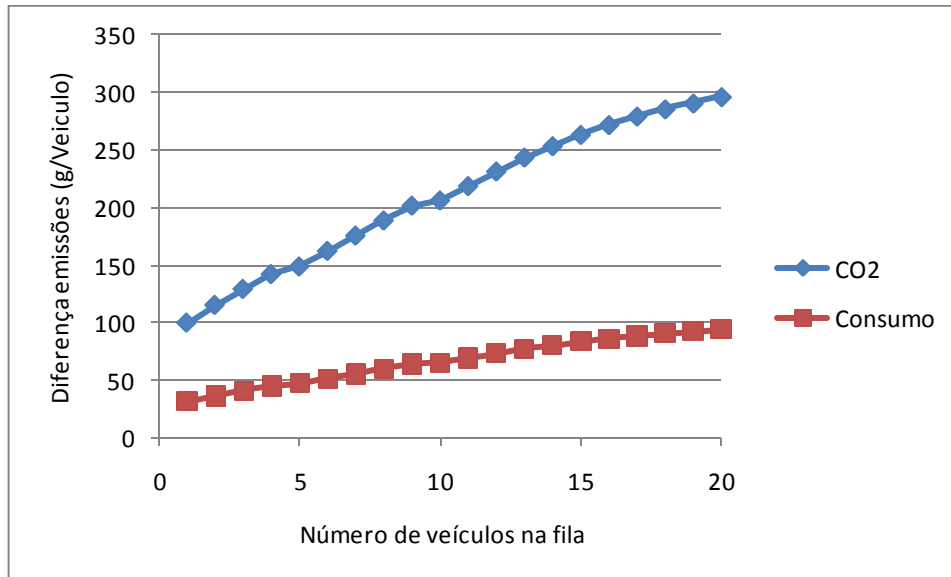


Figura 19 - Diferença entre portagem convencional e ausência de portagem para CO₂ e consumo de combustível

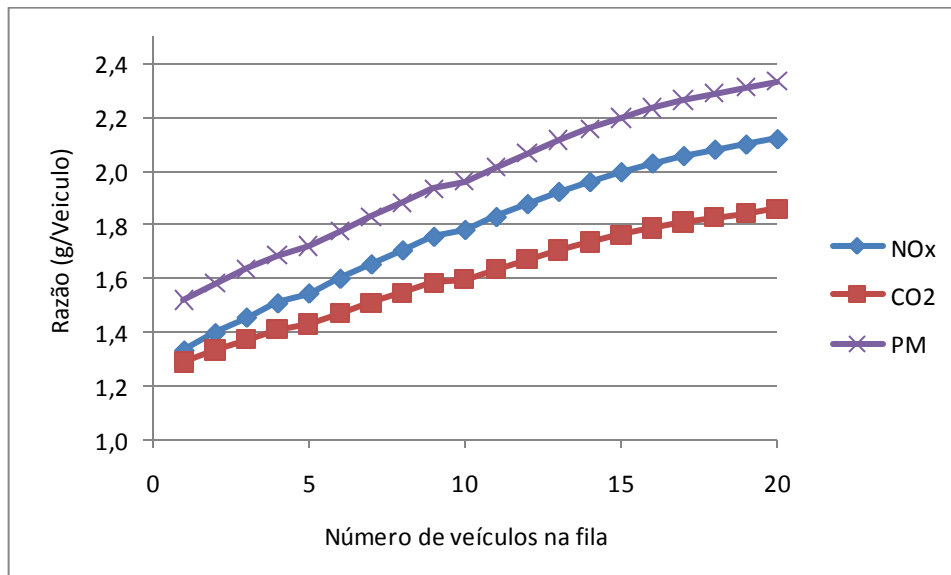


Figura 20 - Razão entre portagem convencional e ausência de portagem para todos os poluentes

Nas Figuras 15 e 16 ilustra-se a evolução das emissões de NO_x, PM e CO₂ assim como do consumo de combustível, estando aí documentada a diferença entre portagens convencionais e portagens de pagamento electrónico. Essa evolução concretiza-se num aumento das emissões de NO_x (0,29 g/veículo, com 1 veículo na fila e 1,47 g/veículo, com 20 veículos na fila), um aumento nas emissões de PM (0,005 g/veículo e 0,21 g/veículo, para 1 e 20 veículos na fila, respectivamente), um aumento das emissões de CO₂ (de 63 g/veículo a 260 g/veículo, num intervalo de 1 a 20 veículos na fila) e o aumento do consumo de combustível cifra-se nas 20 g/veículo, para 1 veículo na fila a 82 g/veículo, para 20 veículos na fila.

Isto traduz-se, analisando a Figura 17, num aumento de 117% a 187% das emissões de NO_x, com 1 a 20 veículos na fila, valores semelhantes para as emissões de PM, de 119% a 183%. No caso das emissões de CO₂ esse aumento é ligeiramente menor, 116% a 168%, considerando também 1 a 20 veículos na fila.

De igual modo, as Figuras 18 e 19 documentam o aumento das emissões de NO_x, PM, CO₂ e do consumo de combustível, mas neste caso comparando portagens convencionais e a ausência destas. Quantificando este aumento para 1 veículo na fila obtiveram-se os seguintes resultados: NO_x, 0,49 g/veículo; PM, 0,10 g/veículo; CO₂, 63,5 g/veículo e consumo de gasóleo, 31,5 g/veículo. Para 20 veículos na fila obtiveram-se os seguintes resultados: NO_x, 1,67 g/veículo; PM, 0,26 g/veículo; CO₂, 296 g/veículo e consumo de combustível, 93,9 g/veículo.

Logo e como indicado na Figura 20 esses aumentos são de 133% a 211% para as emissões de NO_x, 152% a 233% nas emissões de PM e 128% a 185% para as emissões de CO₂. Destes resultados constata-se que a presença de portagens convencionais é mais prejudicial para as emissões de PM.

Modos de condução	NO _x (g/veículo)		CO ₂ (g/veículo)		FC (g/veículo)		PM (g/veículo)	
Desaceleração Principal	0,078	2,5%	16,02	2,5%	5,08	2,5%	0,011	2,4%
Pára-arranca Longo	0,660	20,8%	118,9	18,5%	37,7	18,5%	0,099	21,0%
Pára-arranca Curto	0,583	18,5%	93,6	14,7%	29,6	14,7%	0,073	15,7%
Tempo de Pagamento	0,099	3,2%	15,9	2,5%	5,07	2,5%	0,012	2,7%
Aceleração Principal	1,744	55,0%	396	61,8%	125	61,8%	0,273	58,2%
Soma Portagem Convencional	3,166	100%	640	100%	203	100%	0,469	100%
Portagem Via Verde	1,696	-	380	-	120	-	0,256	-
Ausência de Portagem	1,494	-	344	-	109	-	0,201	-

Tabela 12 - Comparação entre os diversos modos de condução e os diferentes tipos de portagens

Da Tabela 12, a reter ficam o facto de a aceleração final de volta à velocidade de cruzeiro ser um dos maiores contribuintes para o aumento das emissões, isto à imagem deixada pela tabela 6. Todos os poluentes obtêm mais de 50% das suas emissões nesta fase do processo, sendo o CO₂ e as PM os mais prejudicados nesta fase com 61,8% e 58,1%, respectivamente. Os ciclos de pára-arranca também dão o seu contributo significativo para o aumento das emissões, é o caso do NO_x, 39,2% são da sua responsabilidade, para as PM essa percentagem é de 36,6% e no CO₂ o valor é de 33,1%. Os pára-arranca longos são mais poluidores que os pára-arranca curtos.

Comparando os valores da Tabela 11 com os valores das emissões obtidos anteriormente para veículos a gasolina pelo mesmo método (Coelho, 2005).

Desta vez a comparação apenas se pôde dirigir aos poluentes NO_x e CO₂, pois e como referido na secção 3.1. não foram obtidos factores de emissão para os poluentes HC e CO acima do modo VSP 11 e para as portagens seriam necessários factores de emissão acima deste valor de modo VSP. No caso do poluente NO_x as emissões em veículos a diesel (Citroen Jumper) são

superiores às emissões em veículos a gasolina. No CO_2 , as emissões dos veículos a diesel são maiores que dos veículos a gasolina, pois é à semelhança do que ocorre os factores de emissão deste veículo são mais elevados logo a partir do modo VSP 4, apesar de na figura que se segue existir uma certa predominância de modos VSP 1 e 3, a diferença do factor de emissão destes modos é deveras menor quando comparada com os modos acima de 4. A Tabela 13 ilustra a situação referida, no que diz respeito à diferença de valores entre factores de emissão CO_2 .

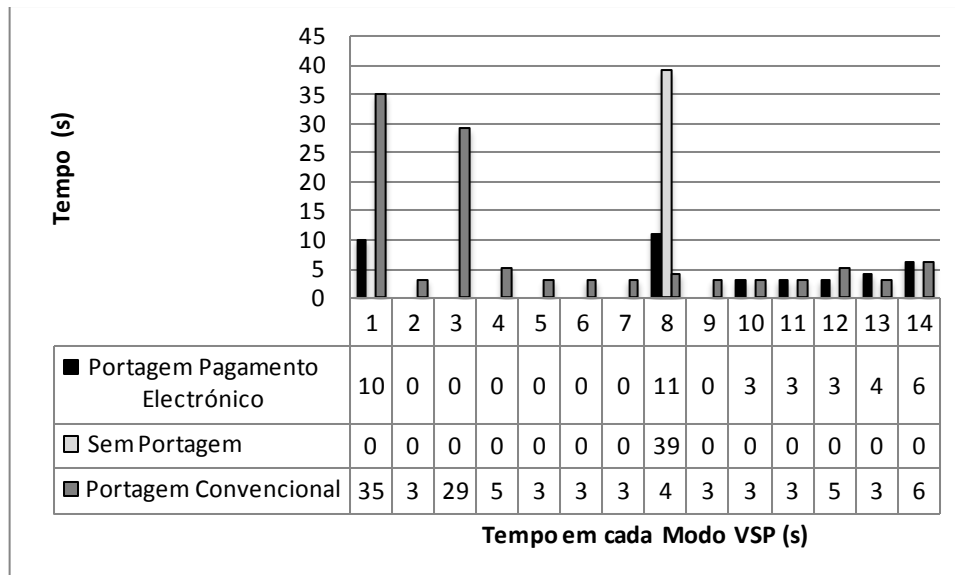


Figura 21 – Tempo dispendido em cada modo VSP

Modo VSP	Citroen Jumper	Veículo a gasolina
1	0,29	1,67
2	0,84	1,45
3	1,07	1,13
4	2,55	2,23
5	4,34	2,90
6	6,14	3,50
7	8,20	4,10
8	9,90	4,60
9	11,27	5,10
10	12,34	5,60
11	13,28	6,50
12	15,12	7,50
13	16,57	9,00
14	18,03	10,00

Tabela 13 – Factores de emissão de CO_2

4.2. Rotundas

A análise dos resultados obtidos no caso das interrupções de tráfego originadas pelas rotundas recairá sobre a comparação entre três situações distintas: a primeira situação ocorre

quando um veículo é sujeito a diversas paragens devido à formação de fila na aproximação da rotunda; a segunda implica a passagem pela rotunda mas sem nenhuma paragem; por fim apresentam-se os resultados referentes à inexistência de rotunda, onde os veículos não teriam de passar por nenhuma fase de mudança no seu perfil de velocidade. Esta comparação é feita para vários níveis de comprimento da fila de trânsito. Após isto, indica-se a variação das emissões de poluentes devido à presença de uma rotunda, mas desta vez para diferentes valores de tráfego de entrada (Q_{in}) e tráfego que entra em conflito com o tráfego de entrada (Q_{conf}) e para diferentes velocidades de cruzeiro (V_{cruise}). Por último, estima-se a variação do nível de emissões entre dois reguladores do tráfego, a rotunda e um cruzamento sinalizado por semáforos.

4.2.1. Skoda Octavia

A Figura 22, 23 e 24 apresentam as diferenças das emissões de poluentes entre a situação de várias paragens e nenhuma paragem, sendo que o último, a Figura 24, apresenta a razão entre esses dois valores de emissões.

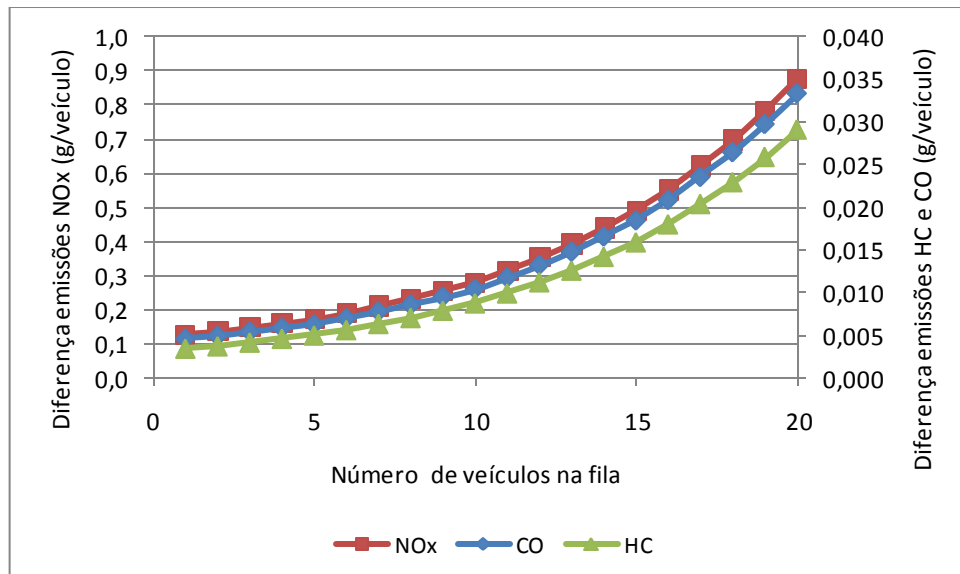


Figura 22 - Diferença entre várias paragens e nenhuma paragem numa rotunda para os poluentes CO, NO_x e HC

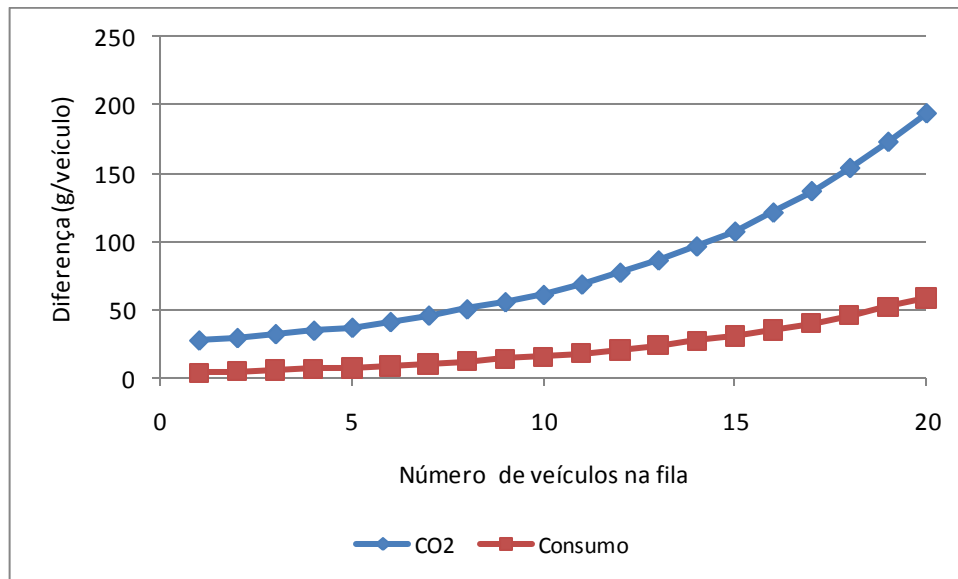


Figura 23 - Diferença entre várias paragens e nenhuma paragem numa rotunda para o poluente CO₂ e consumo de combustível

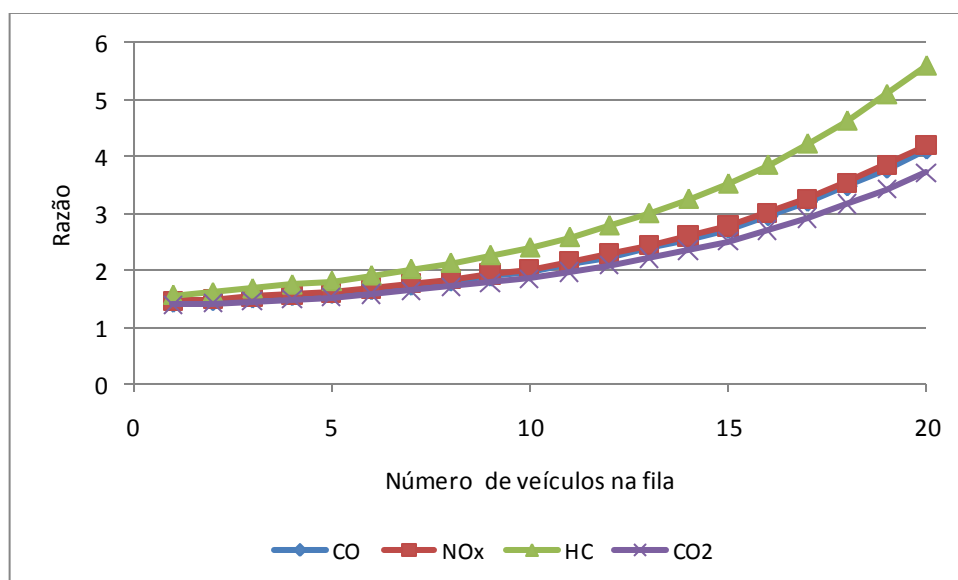


Figura 24 - Razão entre várias paragens e nenhuma paragem numa rotunda para todos os poluentes

As três próximas figuras replicam as três anteriores, mas desta vez indicam a variação das emissões entre várias paragens e a ausência de rotunda. De novo a Figura 27, apresenta a razão entre os dois valores de emissões.

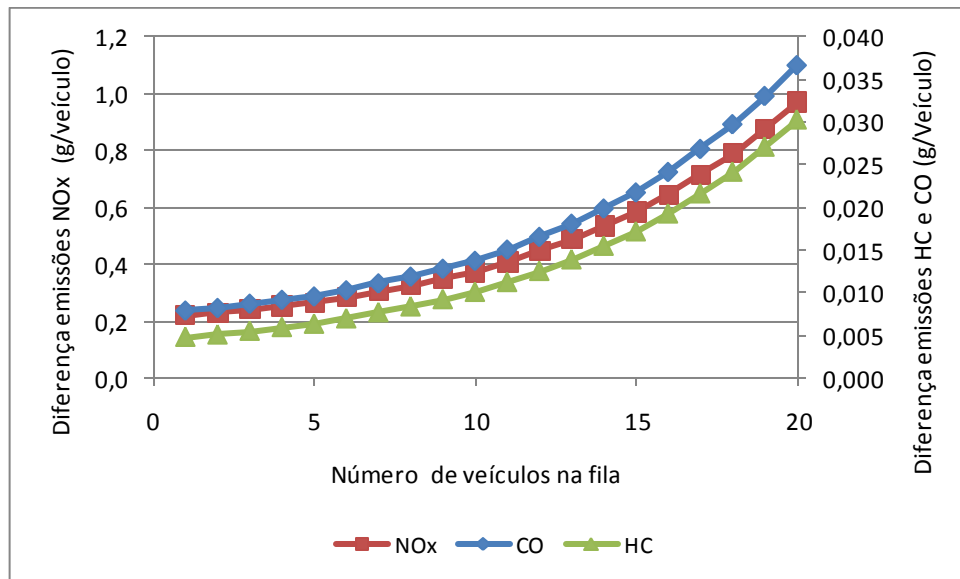


Figura 25 - Diferença entre várias paragens e ausência de rotunda para os poluentes CO, NO_x e HC

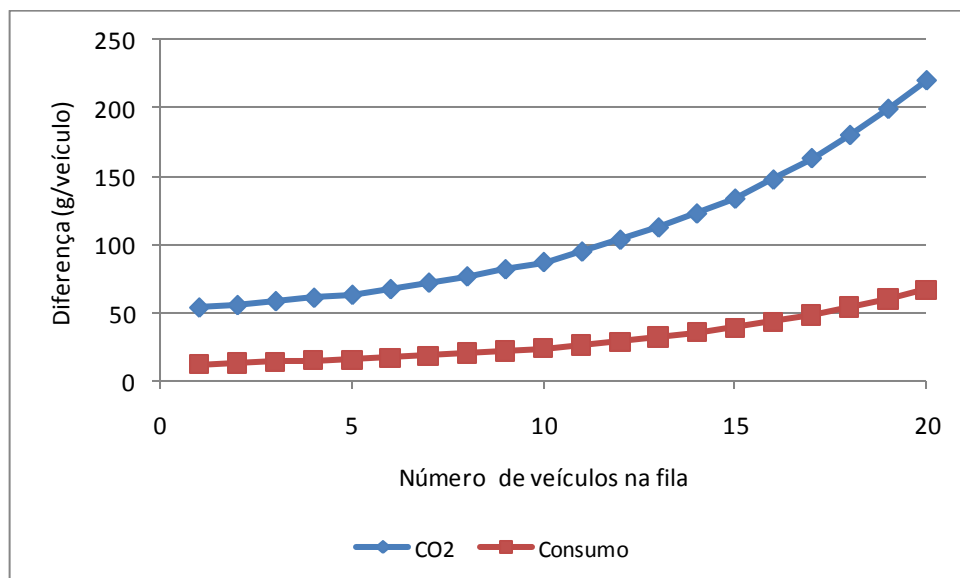


Figura 26 - Diferença entre várias paragens e ausência de rotunda para o poluente CO₂ e consumo de combustível

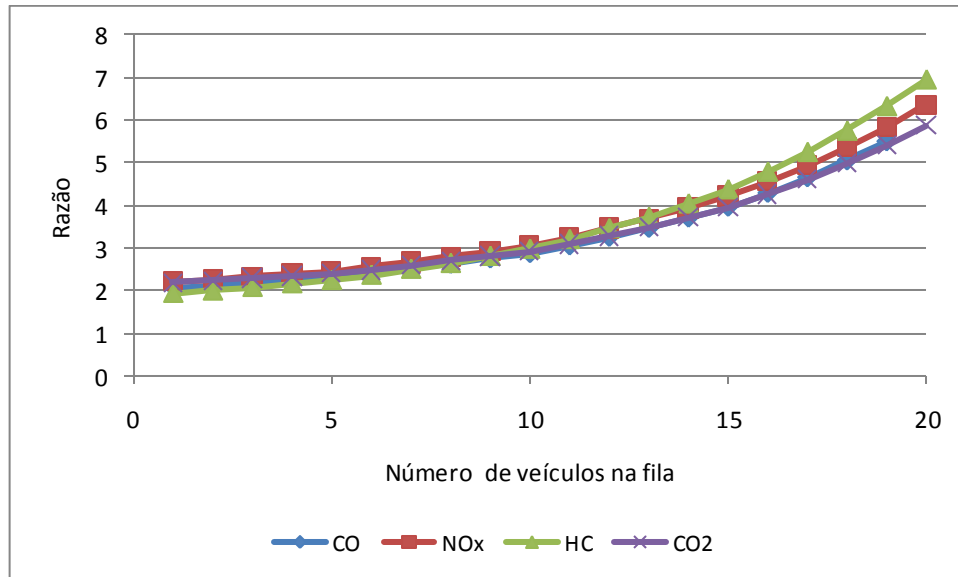


Figura 27 - Razão entre várias paragens e ausência rotunda para todos os poluentes

A reter das Figuras 21 e 22 fica a seguinte conclusão à medida que o número de veículos aumenta na fila as emissões de cada um deles irá ser superior. Em termos absolutos o aumento das emissões de CO, para 1 veículo na fila, é de 0,004 g/veículo, para 20 veículos na fila, é de 0,033 g/veículo. São obtidos valores semelhantes para as emissões de HC: de 0,0035 g/veículo a 0,029 g/veículo, de 1 a 20 veículos na fila.

As emissões de NO_x, por seu turno, vão ser superiores, 0,12 g/veículo para 1 veículo na fila e 0,87 g/veículo com 20 veículos na fila. As emissões de CO₂ e consumo de combustível também aumentam: 27,9 g/veículo e 6,9 g/veículo, respectivamente, para 1 veículo na fila e 193,6 g/veículo e 61,4 g/veículo para 20 veículos na fila.

Isto pode ser traduzido da seguinte forma pela Figura 22, apresentando em primeiro lugar, para cada poluente, o aumento para 1 veículo na fila, seguidos pelo aumento com 20 veículos na fila:

- CO: 142 % a 410%;
- HC: 156% a 558%;
- NO_x: 146% a 419%;
- e CO₂: 139% a 372%.

De igual modo as Figuras 23 e 24 apresentam o aumento das emissões, desta vez, comparando o caso em que se efectuam várias paragens até ultrapassar a rotunda e o caso onde não existiria rotunda.

Neste caso o aumento das emissões de CO, para 1 veículo na fila, é de 0,007 g/veículo e, para 20 veículos na fila, é de 0,036 g/veículo. O aumento das emissões de HC obtém valores parecidos: 0,0048 g/veículo para 1 veículo na fila e 0,030 g/veículo, para 20 veículos na fila. Quanto ao poluente NO_x segue as mesmas pisadas aumentando 0,22 g/veículo e 0,97 g/veículo, para 1 e 20 veículos na fila, respectivamente. As emissões de CO₂ e o consumo de gasóleo cifram-se, respectivamente, em 53,8 g/veículo e 15,2 g/veículo (1 veículo na fila) e 219 g/veículo e 69,7 g/veículo (20 veículos na fila).

O que colocando os resultados noutra perspectiva (Figura 25):

- CO: 208% a 598%;
- HC: 194% a 694%;
- NO_x: 222% a 635%;
- e CO₂: 219% a 586%;

Sendo os valores de aumento mais à esquerda para 1 veículo na fila e os valores de aumento mais à direita para 20 veículos na fila.

As próximas representações gráficas referem-se à modificação das emissões, na presença de uma rotunda em comparação com a ausência da rotunda, a comparação é realizada variando os fluxos de entrada (Q_{in}) e os fluxos que entram em conflito com o fluxo de entrada (Q_{conf}), isto é, a comparação é realizada para níveis diferentes de congestionamento.

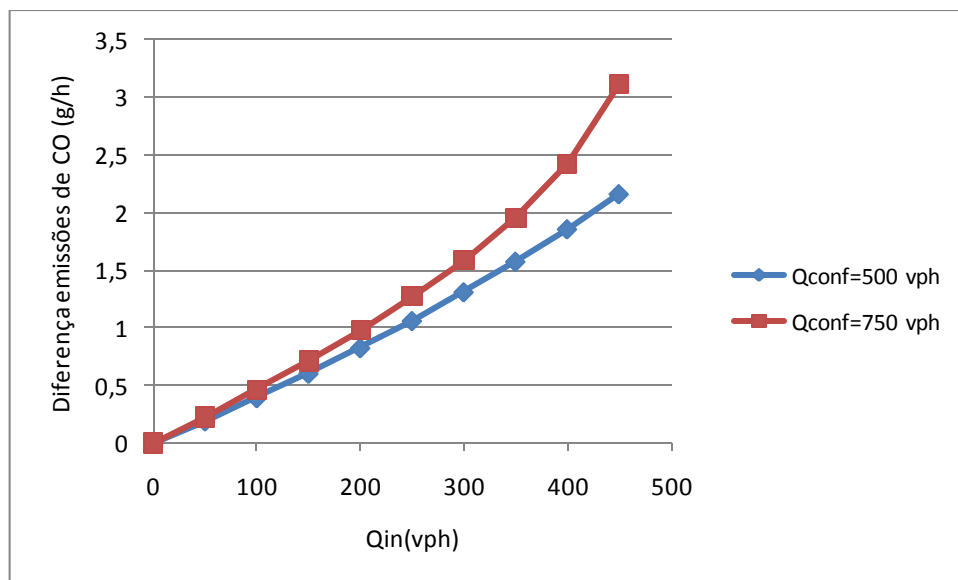


Figura 28 - Diferença entre a presença e ausência de rotundas em termos de emissões de CO

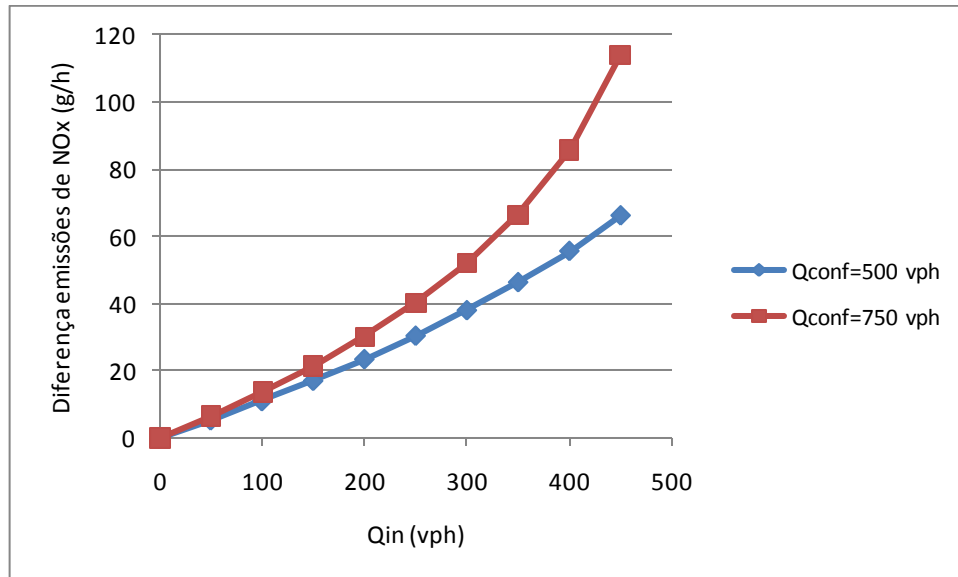


Figura 29 - Diferença entre a presença e ausência de rotundas em termos de emissões de NO_x

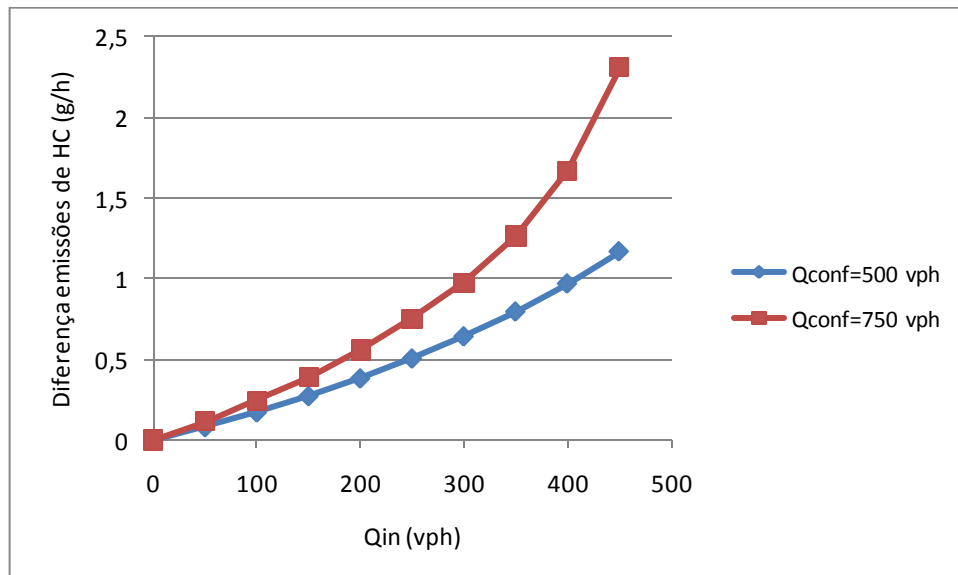


Figura 30 - Diferença entre a presença e ausência de rotundas em termos de emissões de HC

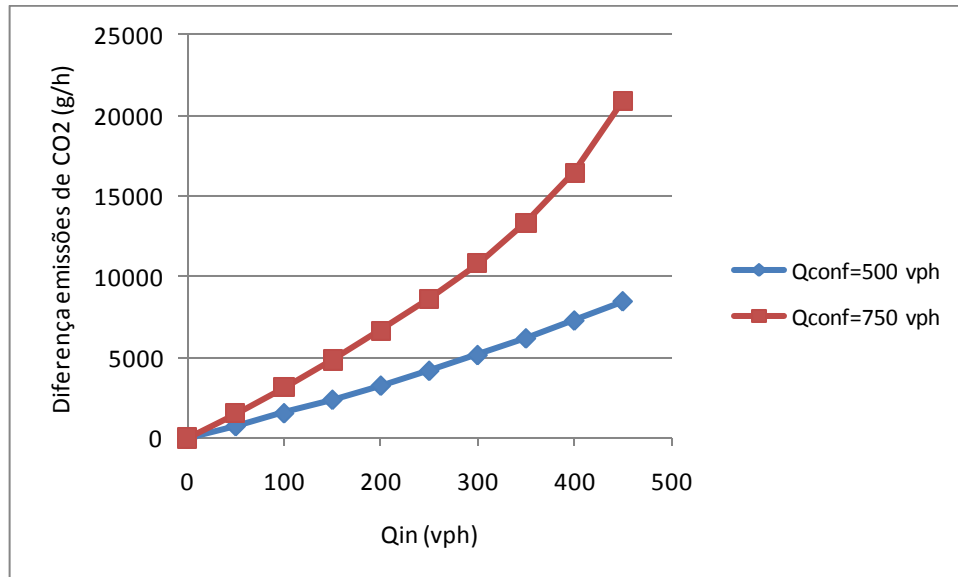


Figura 31 - Diferença entre a presença e ausência de rotundas em termos de emissões de CO₂

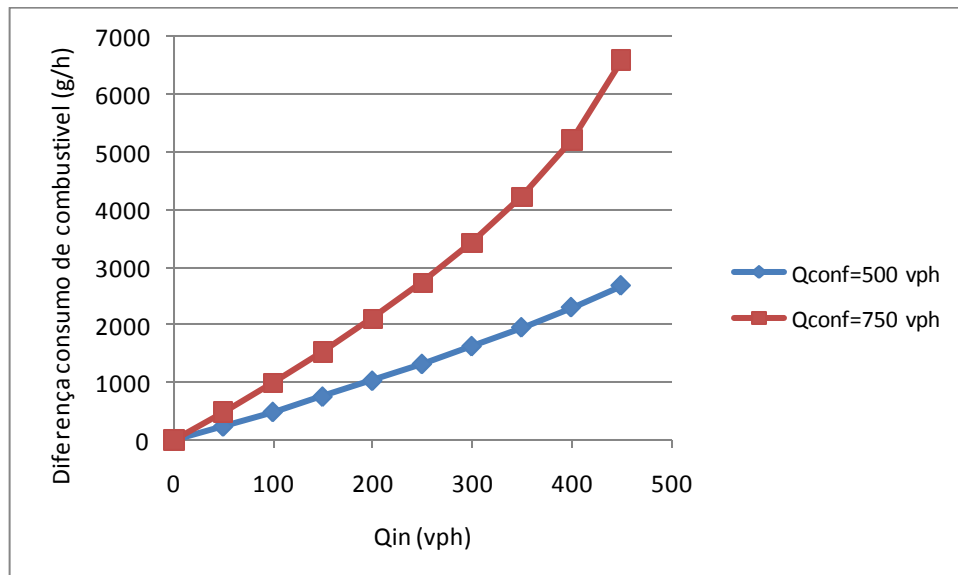


Figura 32 - Diferença entre a presença e ausência de rotundas em termos de consumo de combustível

Para as Figuras 28 a 32 pode-se concluir que a variação do fluxo de tráfego que entra em conflito com o tráfego de entrada de 500 veículos por hora para 750 veículos por hora implica um aumento de:

- CO: 144%;
- NO_x: 172%;
- HC: 197%;
- e CO₂: 244%; considerando Q_{in} = 450 vph.

De seguida, apresentam-se os resultados que evidenciam a variação das emissões de poluentes em relação à mudança do nível de tráfego que entra em conflito com o tráfego de entrada na rotunda (Q_{conf}).

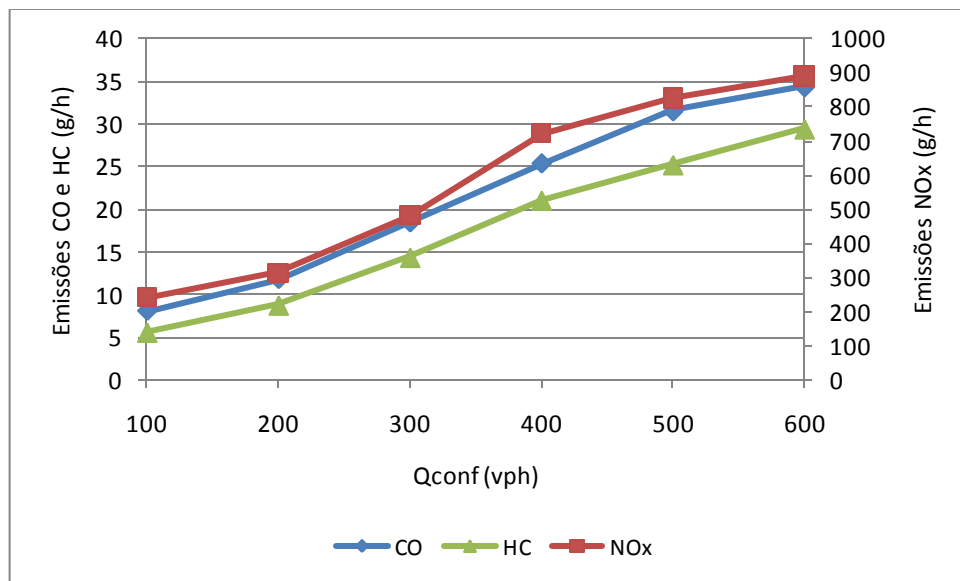


Figura 33 – Variação das emissões de CO, NO_x e HC em relação ao fluxo de tráfego no interior da rotunda

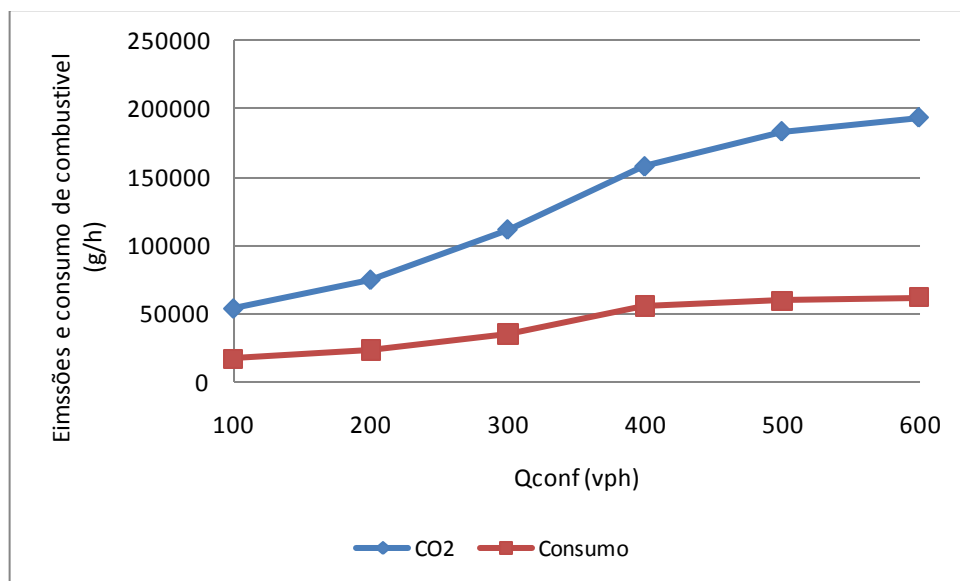


Figura 34 - Variação das emissões de CO₂ e do consumo de combustível em relação ao fluxo de tráfego no interior da rotunda

As Figuras 33 e 34 indicam-nos que o aumento do número de automóveis que entram em conflito na rotunda irá incorrer num aumento das emissões pois o tempo de espera dos veículos em fila aumentará. Para 600 vph de tráfego que entra em conflito na rotunda os valores de emissões de CO, HC, NO_x e CO₂ são 34 g/h, 29 g/h, 890 g/h e 193 kg/h, respectivamente. O consumo de combustível é 62 kg/h.

Comparando estes valores com os valores obtidos para veículos com motores a gasolina, (Coelho, 2005) conclui-se que as emissões de HC, CO e CO₂ são menores nos veículos a diesel, sendo que o poluente NO_x é superior nestes mesmos veículos.

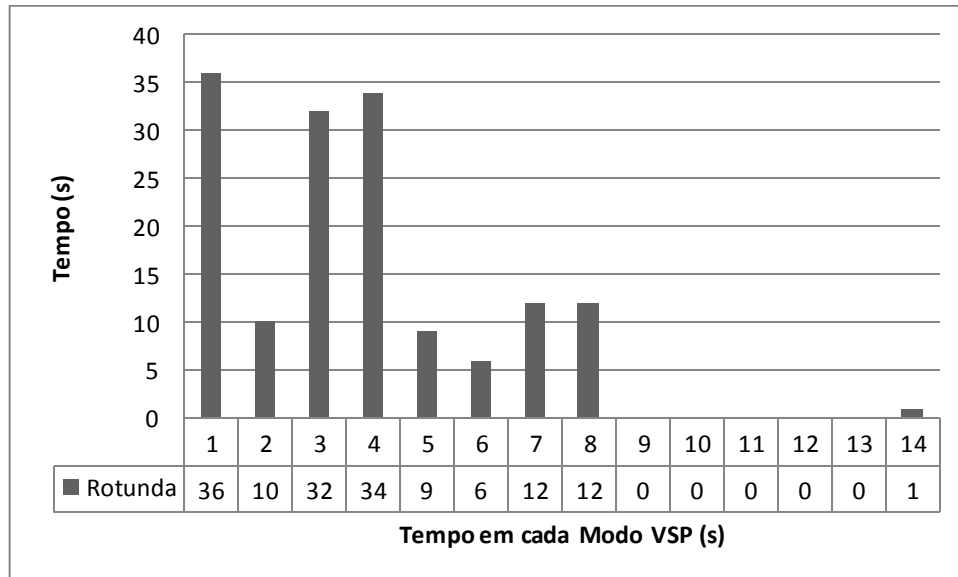


Figura 35 – Tempo dispendido em cada modo VSP

A Figura 35, representa o tempo dispendido em cada modo como é visível o Skoda Octavia apenas se encontra durante 14 segundos acima do Modo VSP 7, lembrando a Tabela 10, é acima deste valor que o Skoda Octavia passa a ter factores de emissão CO₂ maiores que o veículo a gasolina em causa.

As próximas Figuras (36 e 37) representam os resultados obtidos da variação das emissões de poluentes em relação à mudança da velocidade de cruzeiro da qual o veículo desacelerava e para a qual o veículo voltava a acelerar após a negociação da rotunda. A velocidade foi limitada aos 60 km/h pois este estudo foca-se em rotundas citadinas.

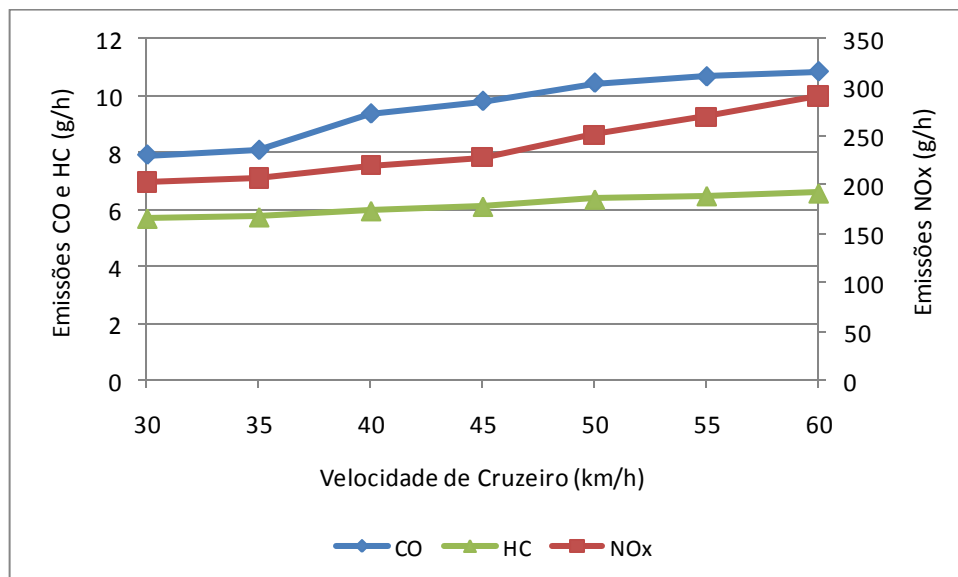


Figura 36 - Variação das emissões de CO, NO_x e HC em relação à velocidade de cruzeiro

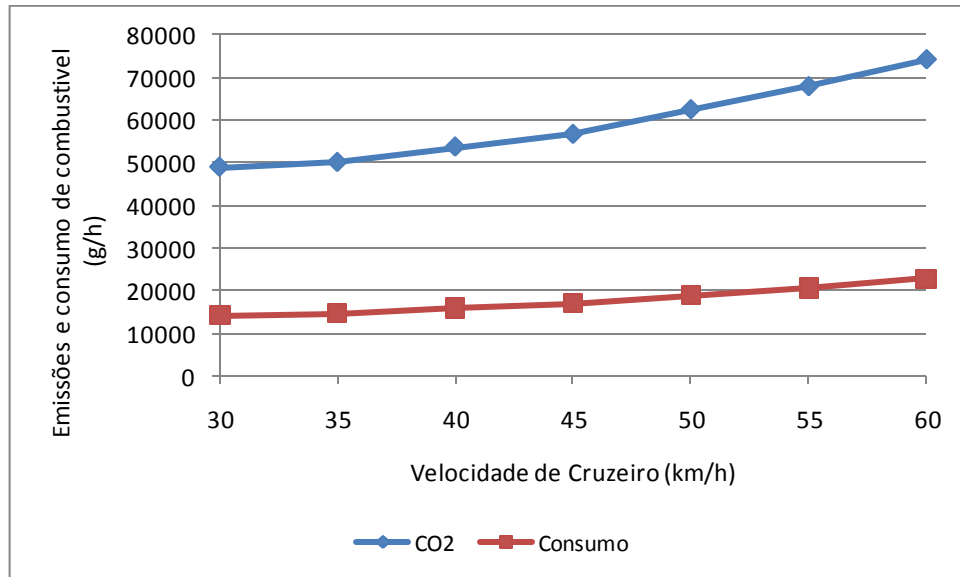


Figura 37 - Variação das emissões de CO₂ e do consumo de combustível em relação à velocidade de cruzeiro

O aumento das emissões associado ao aumento da velocidade de cruzeiro dos 30 km/h para os 60 km/h é:

- CO: 137%;
- HC: 115%;
- NO_x: 143%;
- e CO₂: 151%.

Isto permite-nos concluir que o poluente CO₂ é mais prejudicado pela presença de uma rotunda que os outros poluentes.

As Figuras 38 e 39 indicam o aumento de emissões de uma intersecção regulada por semáforos por comparação com uma rotunda, para valores crescentes de tráfego de entrada.

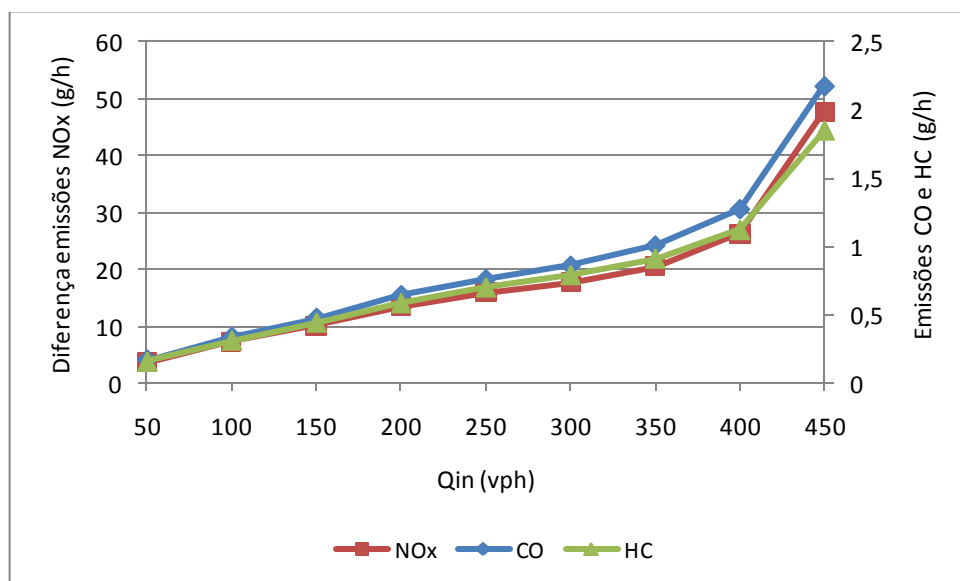


Figura 38 – Comparação das emissões de NO_x, CO e HC (g/h) entre uma intersecção semaforizada e uma rotunda

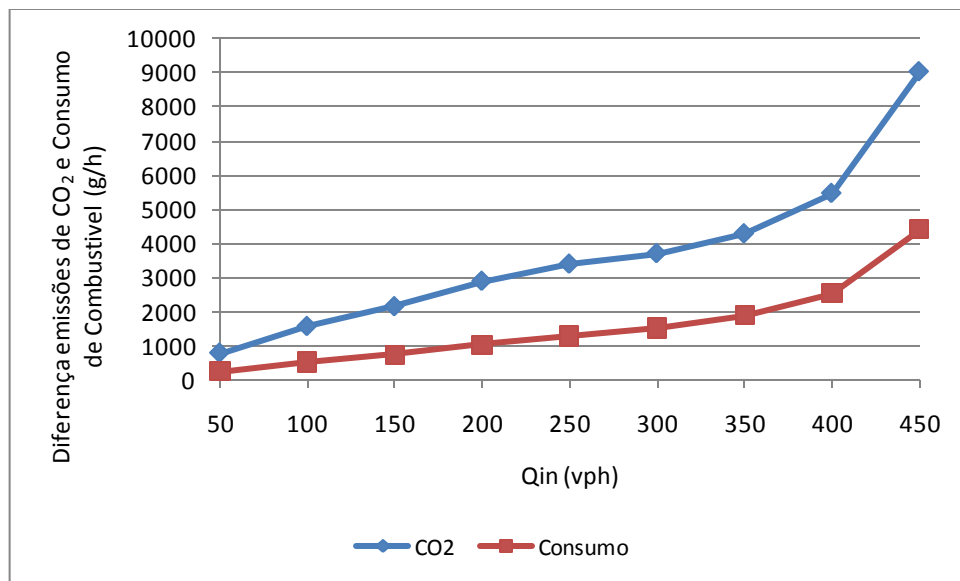


Figura 39 – Comparação das emissões de CO₂ e do consumo de combustível (g/h) entre uma intersecção semaforizada e uma rotunda

Os valores do aumento de emissões na intersecção semaforizada são 2,1 g/h, 47,6 g/h, 1,8 g/h, 9 kg/h e 4 kg/h, respectivamente para os poluentes CO, NO_x, HC, CO₂ e por último para o consumo de gasóleo, isto para Q_{in} = 450 vph.

4.2.2. Citroen Jumper

À semelhança do que foi feito para o veículo Skoda Octavia, foi feita a análise dos resultados obtidos para o Citroen Jumper. Para tal foram replicados os gráficos obtidos para o Skoda Octavia com o intuito de facilitar uma possível análise comparativa. Os três gráficos que se seguem indicam o aumento das emissões de poluentes e consumo de combustível comparando o caso de várias paragens a montante da rotunda com o caso de nenhuma paragem se efectuar.

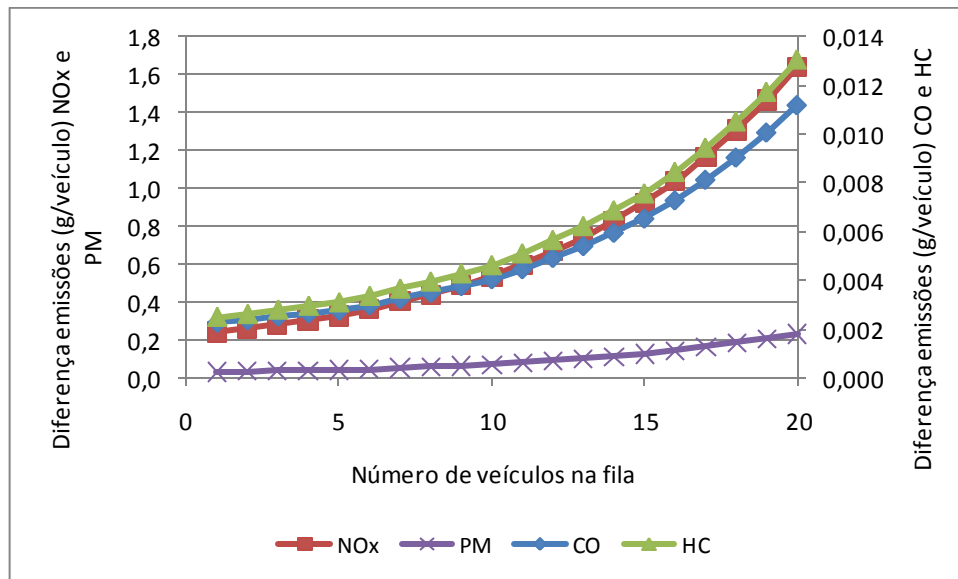


Figura 40 – Diferença entre várias paragens e nenhuma paragem numa rotunda para os poluentes NO_x , PM, CO e HC

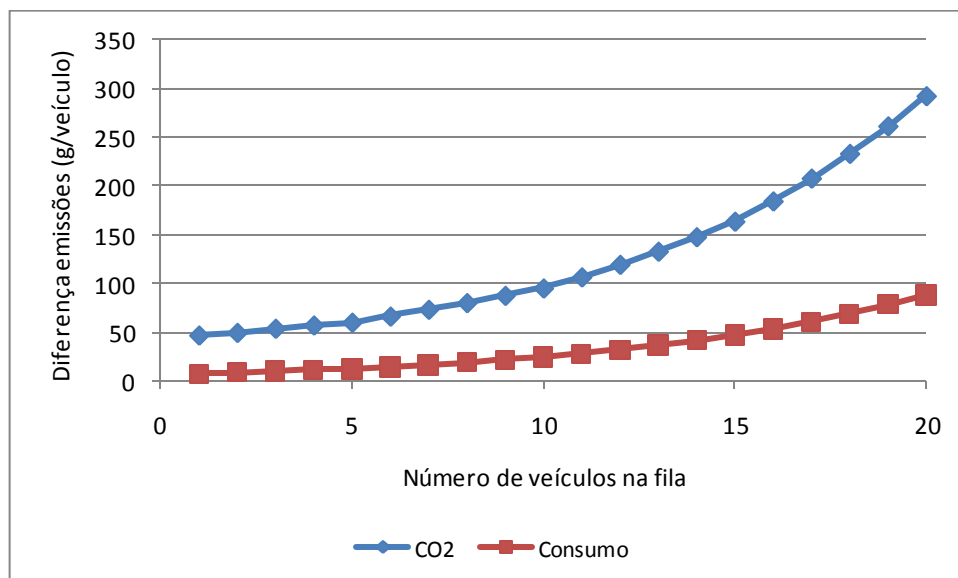


Figura 41 – Diferença entre várias paragens e nenhuma paragem numa rotunda para os poluentes CO_2 e para o consumo de combustível

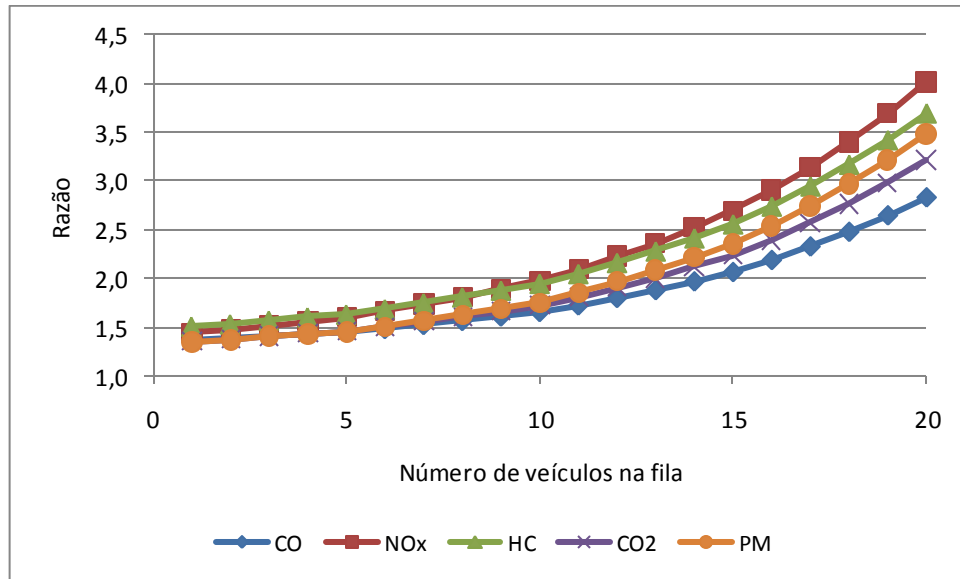


Figura 42 – Razão entre várias paragens e nenhuma paragem numa rotunda para todos os poluentes

À imagem e semelhança da estrutura de apresentação dos resultados para o Skoda Octavia, as três próximas figuras replicam as três anteriores, mas desta vez indicam a variação das emissões entre várias paragens e a ausência de rotunda.

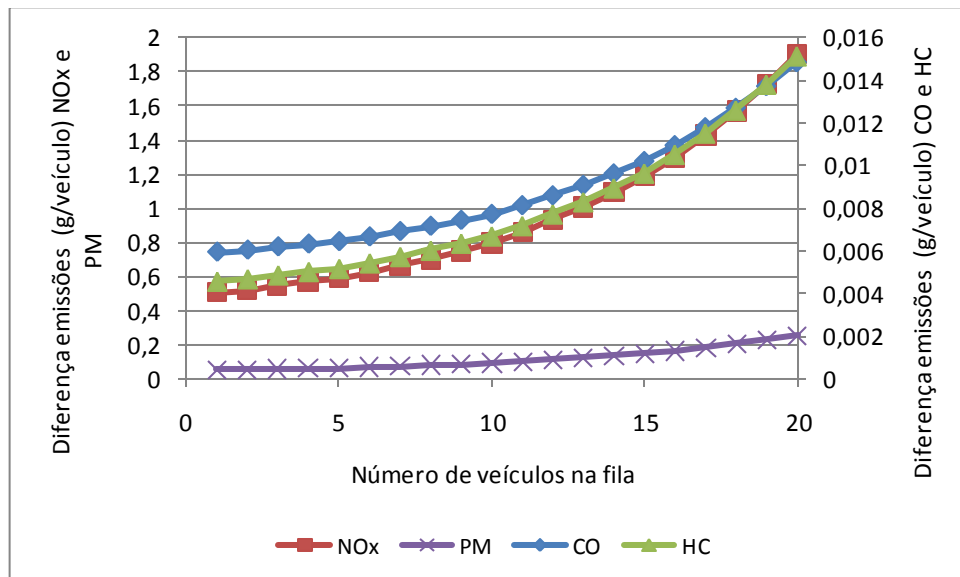


Figura 43 – Diferença entre várias paragens e ausência de rotunda para os poluentes NO_x, PM, CO e HC

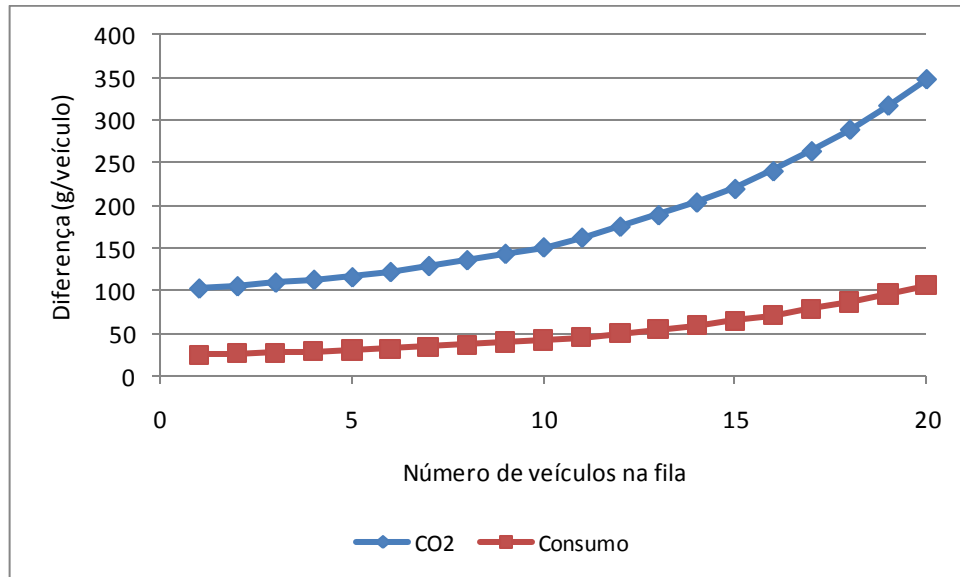


Figura 44 – Diferença entre várias paragens e ausência de rotunda para o poluente CO₂ e para o consumo de combustível

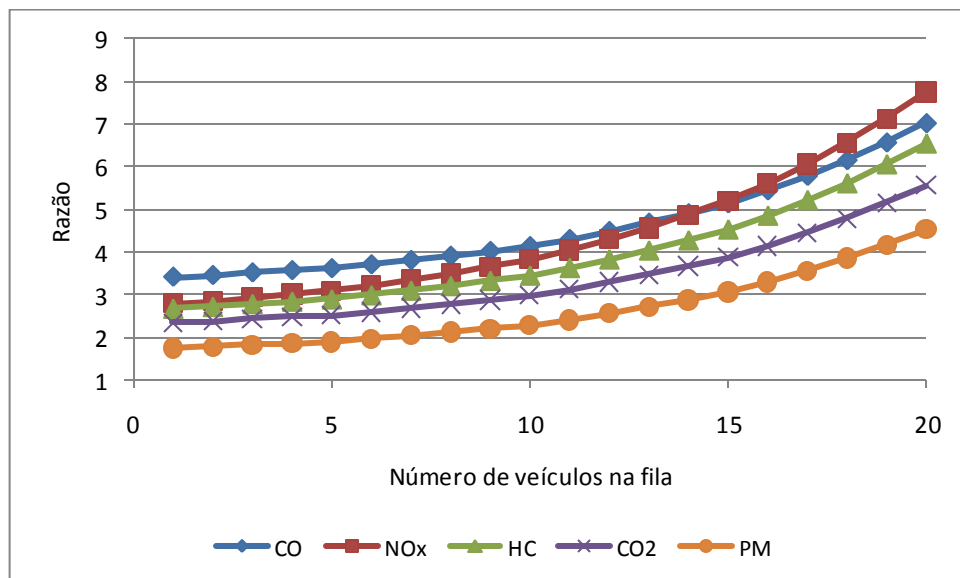


Figura 45 – Razão entre várias paragens e ausência de rotunda para todos os poluentes

As Figuras 40 e 41 permitem observar que o aumento das emissões relacionado com veículos que efectuem várias paragens até saírem da área de influência de uma rotunda e veículos que não efectuem qualquer paragem.

Essa diferença é, para 1 veículo na fila, 0,002 g/veículo, 0,244 g/veículo, 0,002 g/veículo, 0,032 g/veículo e 47 g/veículo para CO, NO_x, HC, PM e CO₂, respectivamente. Para o consumo de combustível essa diferença é 7,7 g/veículo.

Se ao invés de 1 veículo na fila existirem 20, a diferença cifra-se nos 0,011 g/veículo, 1,64 g/veículo, 0,013 g/veículo, 0,23 g/veículo e 292 g/veículo, respectivamente para os mesmos poluentes. A diferença do consumo de combustível aumenta para 88 g/veículo.

Apresentando estes resultado em termos de percentagens, sendo que após cada poluente surge a percentagem para 1 veículo na fila seguida da percentagem para 20 veículos:

- CO: 137% a 282%;
- NO_x: 144% a 401%;
- HC: 151% a 369%;
- PM: 134% a 348%;
- e CO₂: 135% a 321%.

Com a diferença entre as emissões dos veículos que param diversas vezes e os veículos que não estão sujeitos a uma rotunda foram criadas as Figuras 43 e 44, da sua observação surgem os resultados, para 1 veículo na fila, do aumento das emissões para CO, 0,005 g/veículo, NO_x, 0,5 g/veículo, HC, 0,004 g/veículo, PM, 0,054 g/veículo e para o poluente CO₂, 103 g/veículo. O consumo de combustível aumenta em 25,3 g/veículo.

Se existirem 20 veículos na fila estas diferenças aumentam, passando a ser 0,014 g/veículo, 1,64 g/veículo, 0,015 g/veículo, 0,25 g/veículo e 347 g/veículo (CO, NO_x, HC, PM, CO₂). O aumento do consumo de combustível passará a ser de 106 g/veículo.

A Figura 45 indica as razões de crescimento, apresentando o resultado no mesmo formato da Figura 42:

- CO: 341% a 703%;
- NO_x: 279% a 774%;
- HC: 268% a 653%;
- PM: 173% a 453%;
- e CO₂: 235% a 555%.

As próximas representações gráficas referem-se à modificação das emissões, na presença de uma rotunda em comparação com a ausência da rotunda, a comparação é realizada variando os fluxos de entrada (Q_{in}) e os fluxos que entram em conflito com o fluxo de entrada (Q_{conf}).

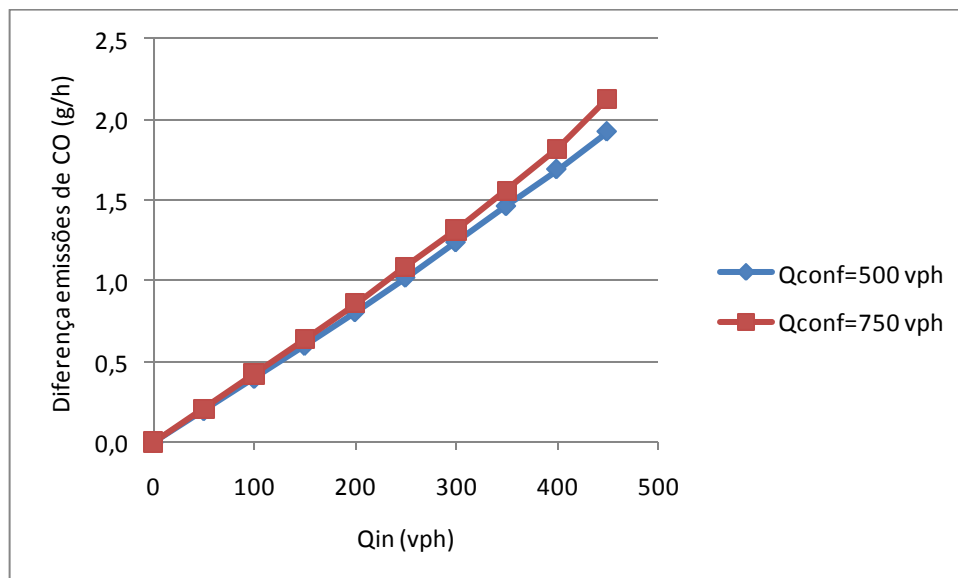


Figura 46 – Diferença entre a presença e ausência de rotundas em termos de emissões de CO

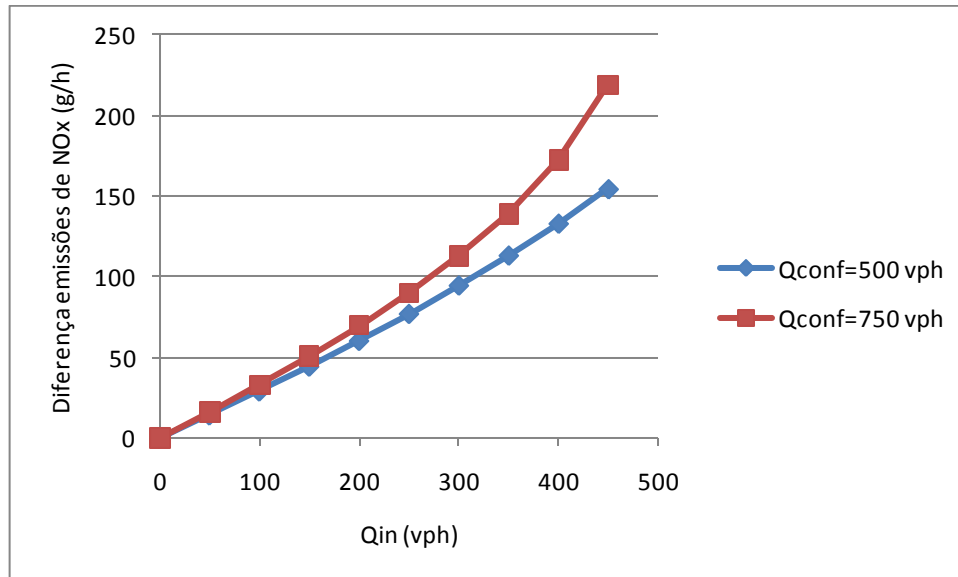


Figura 47 – Diferença entre a presença e ausência de rotundas em termos de emissões de NO_x

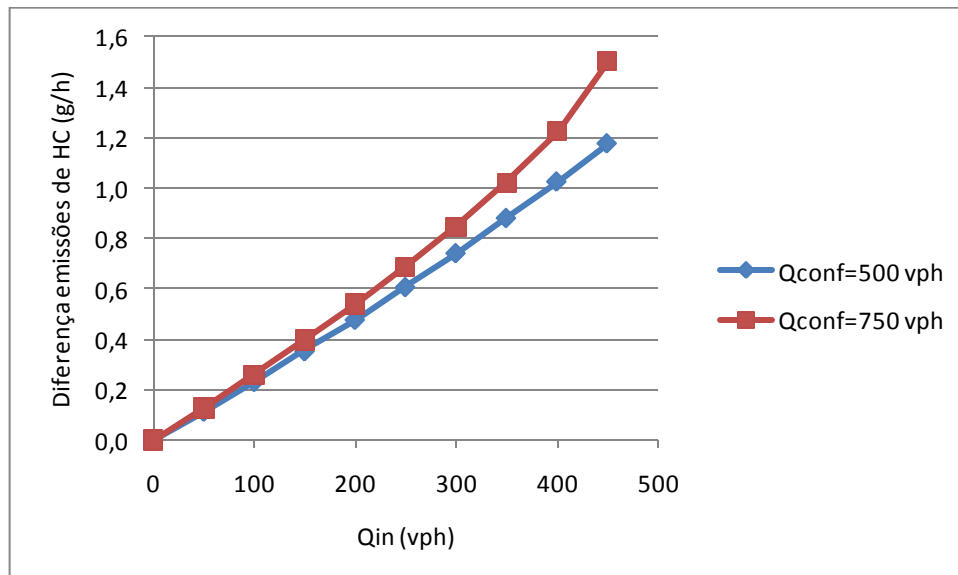


Figura 48 – Diferença entre a presença e ausência de rotundas em termos de emissões de HC

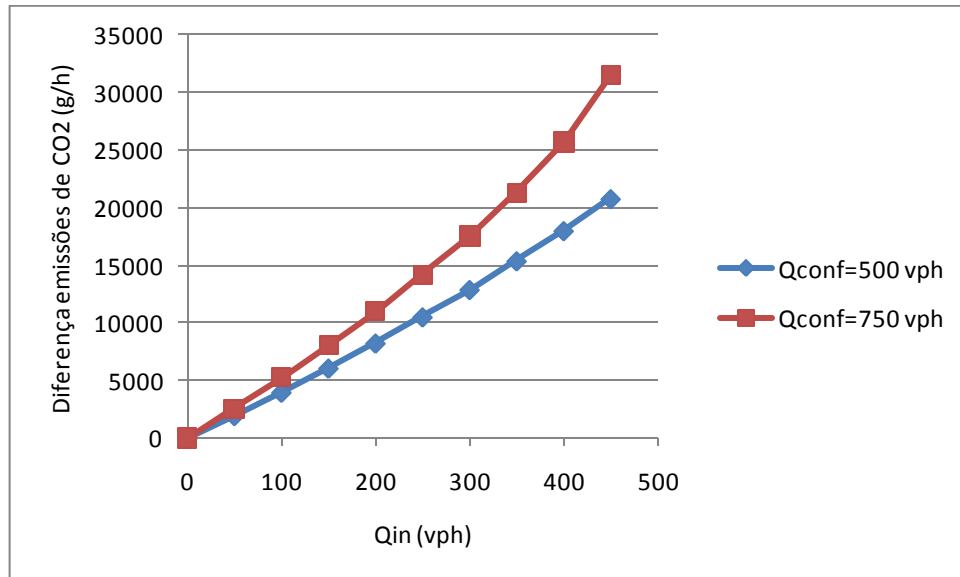


Figura 49 – Diferença entre a presença e ausência de rotundas em termos de emissões de CO₂

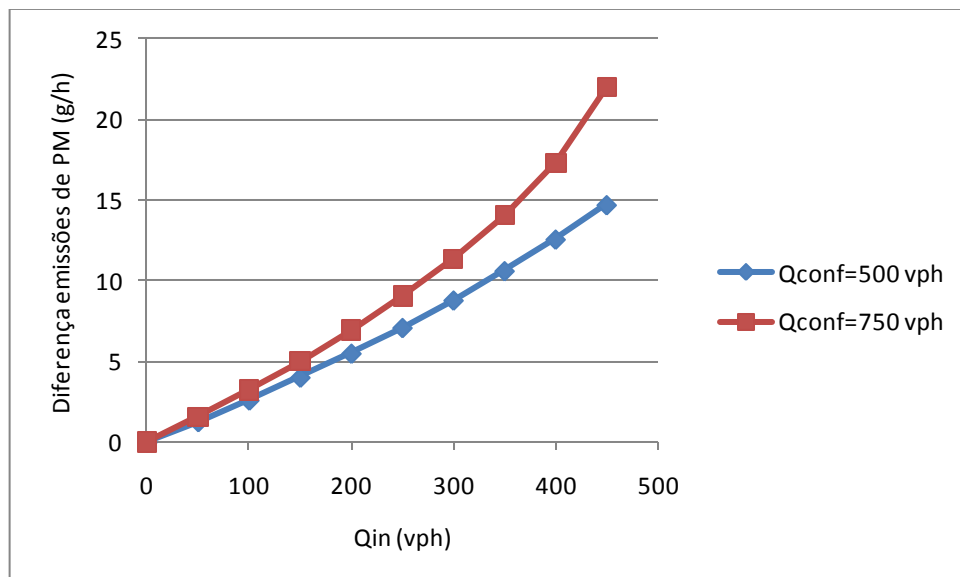


Figura 50 – Diferença entre a presença e ausência de rotundas em termos de emissões de PM

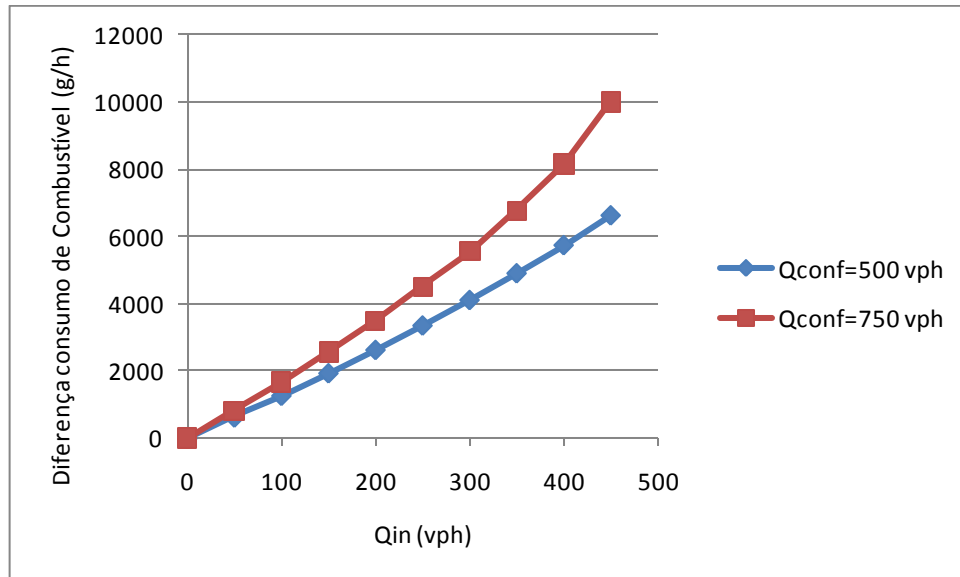


Figura 51 – Diferença entre a presença e ausência de rotundas em termos de consumo de combustível

Para as Figuras 46 a 51, pode-se concluir que a variação do fluxo de tráfego que entra em conflito com o tráfego de entrada de 500 veículos por hora para 750 veículos por hora implica um aumento das emissões de poluentes de:

- CO: 110%;
- NO_x: 141%;
- HC: 127%;
- CO₂: 151%;
- PM: 149%.

De seguida, apresentamos os resultados que evidenciam a variação das emissões de poluentes em relação à mudança do nível de tráfego que entra em conflito com o tráfego de entrada na rotunda (Q_{conf}).

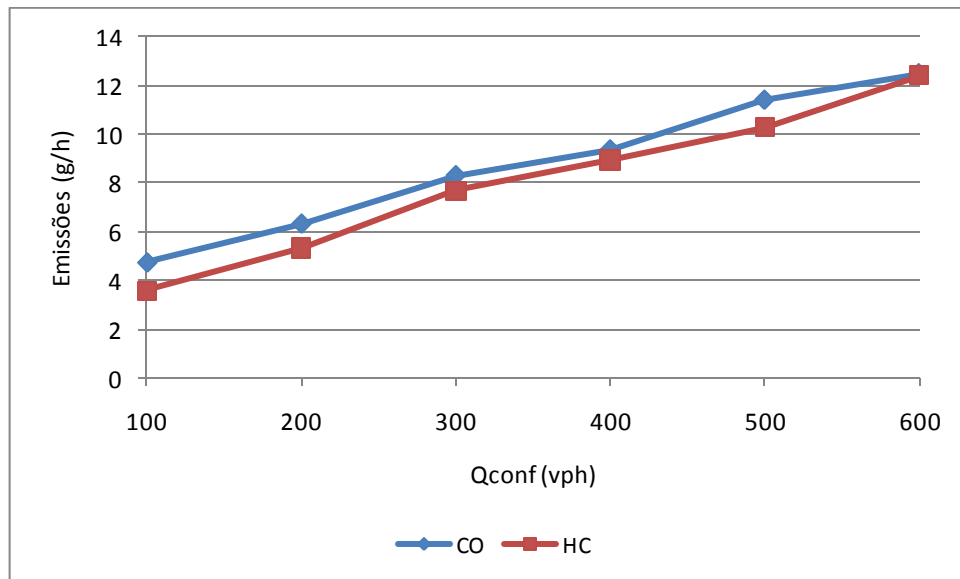


Figura 52 – Variação das emissões de CO e HC em relação ao fluxo de tráfego no interior da rotunda

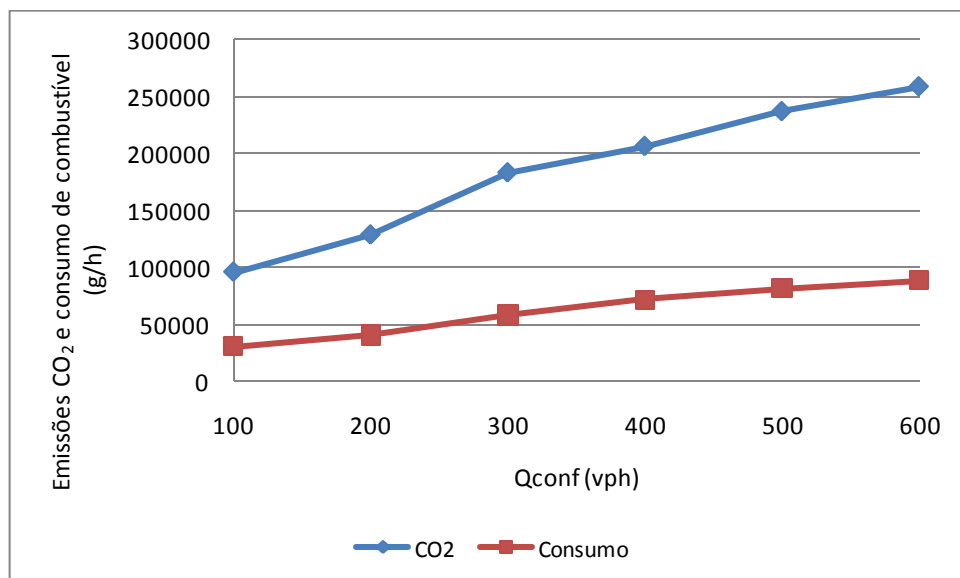


Figura 53 – Variação das emissões de CO₂ e consumo de combustível em relação ao fluxo de tráfego no interior da rotunda

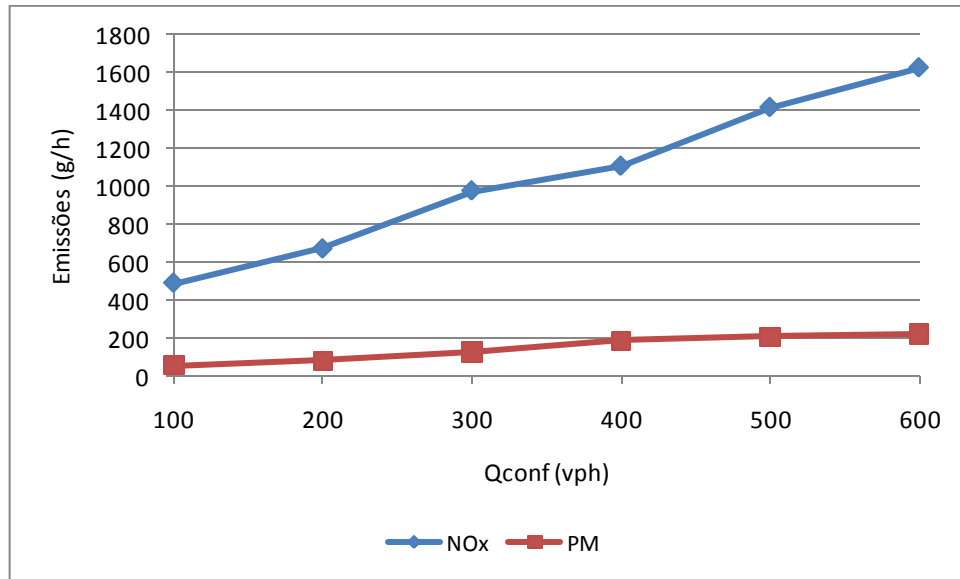


Figura 54 – Variação das emissões de NO_x e PM em relação ao fluxo de tráfego no interior da rotunda

As Figuras 52, 53 e 54 indicam-nos que o aumento do número de automóveis que entram em conflito na rotunda irá incorrer num aumento das emissões pois o tempo de espera dos veículos em fila aumentará. Para 600 vph de tráfego que entra em conflito na rotunda os valores de emissões de CO, HC, NO_x, PM e CO₂ são 12 g/h, 12 g/h, 1622 g/h, 222 g/h e 258 kg/h, respectivamente. O consumo de combustível é 88 kg/h.

Comparando estes valores com os valores obtidos para veículos com motores a gasolina, (Coelho, 2005) conclui-se que as emissões de HC e CO são menores nos veículos a diesel, sendo que o poluente NO_x é muito superior (mais 1474%) nestes mesmos veículos. As emissões de CO₂ são superiores mais uma vez e, à semelhança do que ocorria na análise realizada para as portagens, devido ao facto de os factores de emissão serem superiores.

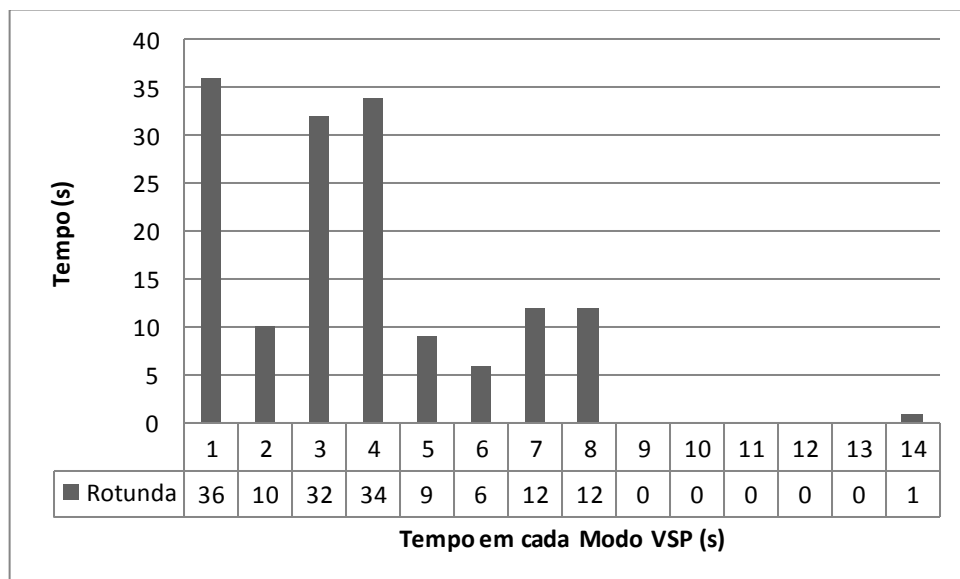


Figura 55 – Tempo dispendido em cada modo VSP

Apesar de, como se pode observar na Figura 55, o tempo passado acima e abaixo do Modo VSP 3 ser equiparado, a diferença dos factores de emissão CO_2 entre os Modos VSP acima do 3 é muito superior que abaixo, aliás como é visível na Tabela 12.

As próximas figuras representam os resultados obtidos da variação das emissões de poluentes em relação à mudança da velocidade de cruzeiro da qual o veículo desacelerava e para a qual o veículo voltava a acelerar após a negociação da rotunda.

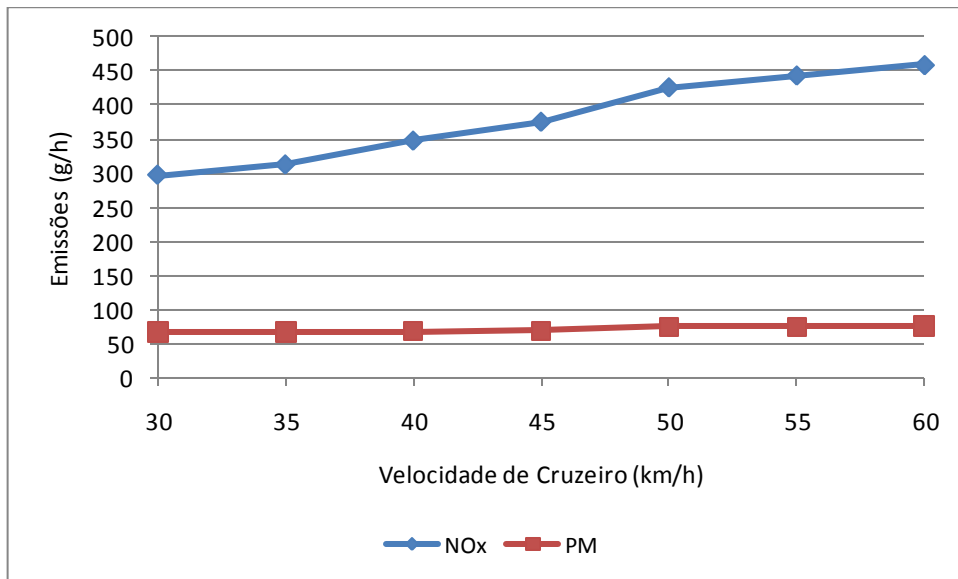


Figura 56 – Variação das emissões de NO_x e PM em relação à velocidade de cruzeiro

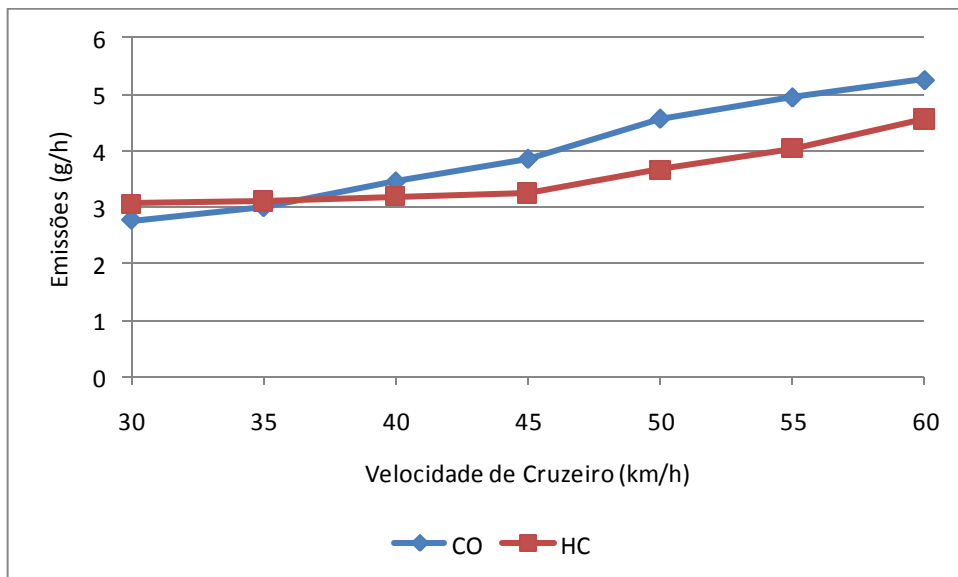


Figura 57 – Variação das emissões de CO e HC em relação à velocidade de cruzeiro

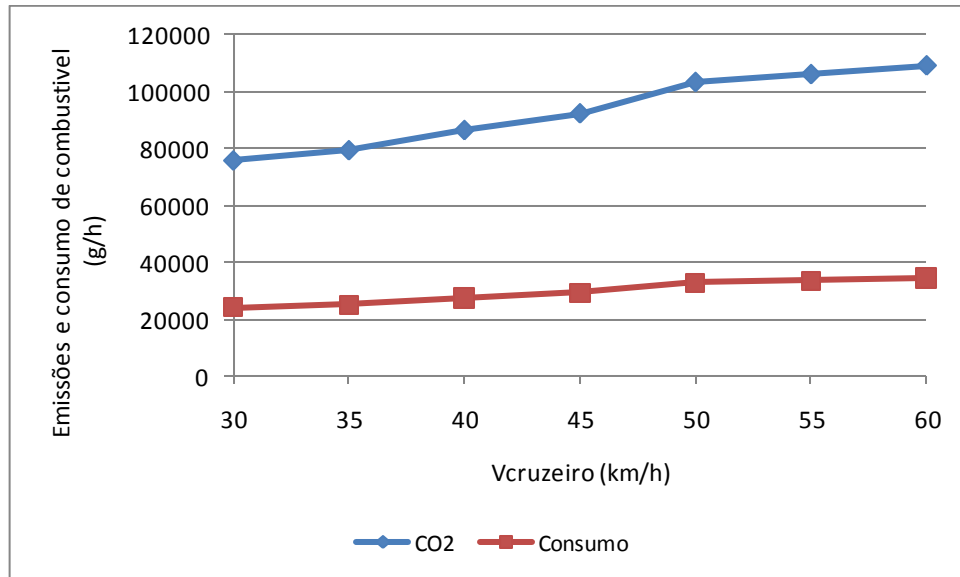


Figura 58 – Variação das emissões de CO₂ e consumo de combustível em relação à velocidade de cruzeiro

O aumento das emissões associado ao aumento da velocidade de cruzeiro dos 30 km/h para os 60 km/h é:

- CO: 189%;
- HC: 149%;
- NO_x: 154%;
- CO₂: 143%;
- PM: 112%.

As próximas duas Figuras (59 e 60) indicam o aumento de emissões de uma intersecção regulada por semáforos por comparação com uma rotunda, para valores crescentes de tráfego de entrada.

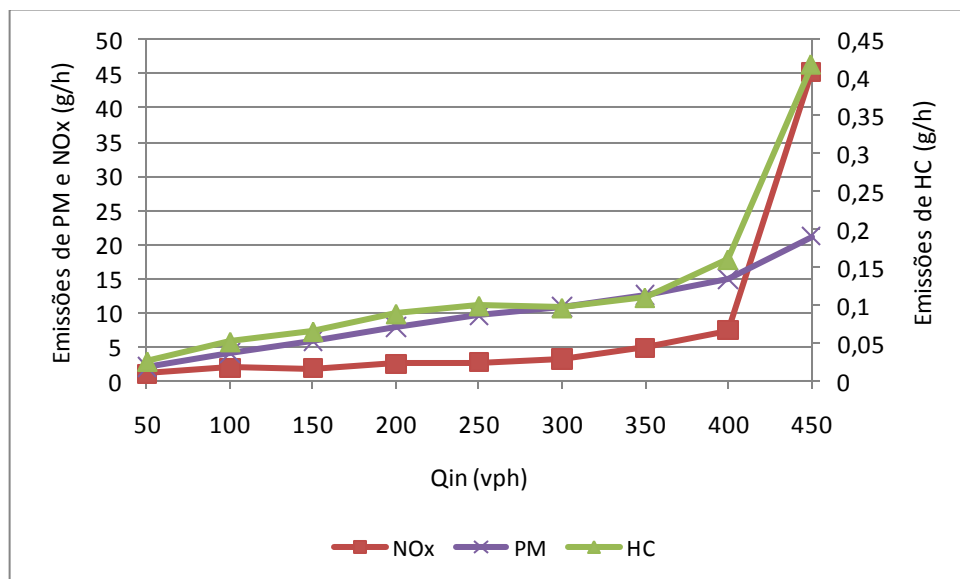


Figura 59 – Comparação das emissões de NO_x, PM e HC (g/h) entre uma intersecção semaforizada e uma rotunda

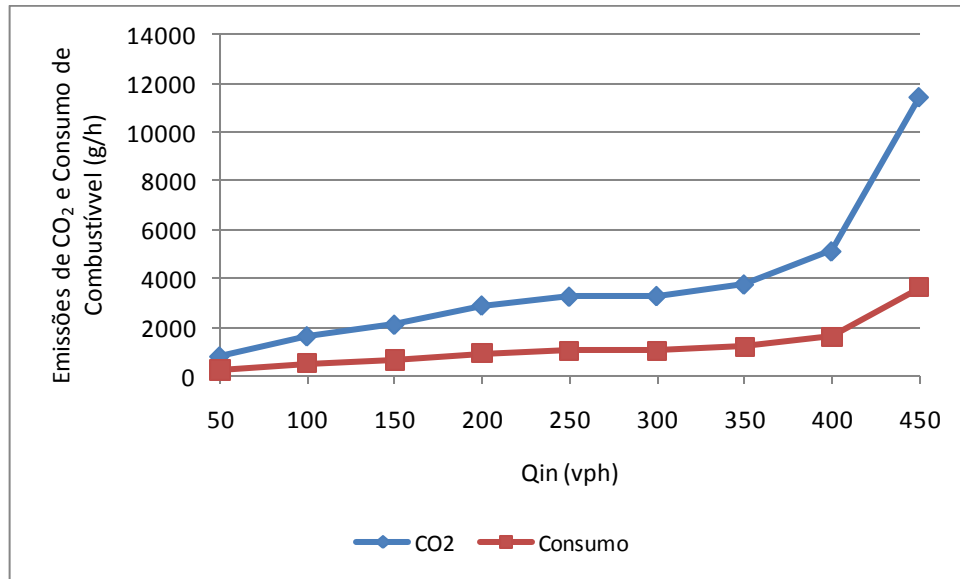


Figura 60 – Comparação das emissões de CO₂ e do consumo de combustível (g/h) entre uma intersecção semaforizada e uma rotunda

Os valores do aumento de emissões na intersecção semaforizada para $Q_{in} = 450$ vph são 45 g/h, 0,4 g/h, 11 kg/h e 3,6 kg/h, respectivamente para os poluentes NO_x, HC e CO₂ e por último para o consumo de gasóleo.

4.3. Semáforos de Controlo de Velocidade

Nesta secção são apresentados os resultados relativos às emissões poluentes em semáforos de controlo de velocidade. Os resultados são apresentados na forma do acréscimo das emissões provocadas pela presença dos ditos semáforos em relação às emissões sem essa presença (das observações realizadas em Coelho (2005) conclui-se que os veículos se deslocam a uma velocidade de cruzeiro média de 65km/h). Por último é apresentada uma comparação entre veículos diesel desta análise e os veículos a gasolina de uma análise anterior (Coelho, 2005).

4.3.1. Skoda Octavia

As primeiras figuras desta secção correspondem à comparação entre as emissões na sem a presença de sinais, isto é, o veículo deslocando-se a uma velocidade de cruzeiro (65 km/h) e as emissões de um veículo sujeito a esses mesmos sinais de controlo de velocidade. Para tal utilizou-se o Caso C, fazendo variar em primeiro lugar o incremento do tempo de vermelho (R_i) (Figura 61) e em segundo o tempo mínimo de verde (G_{min}) (Figura 62). Nestas duas figuras não surgem os resultados relativos ao consumo de combustível pois como os dados resultam de um rácio entre dois consumos os seus resultados são exactamente iguais aos resultados das emissões de CO₂.

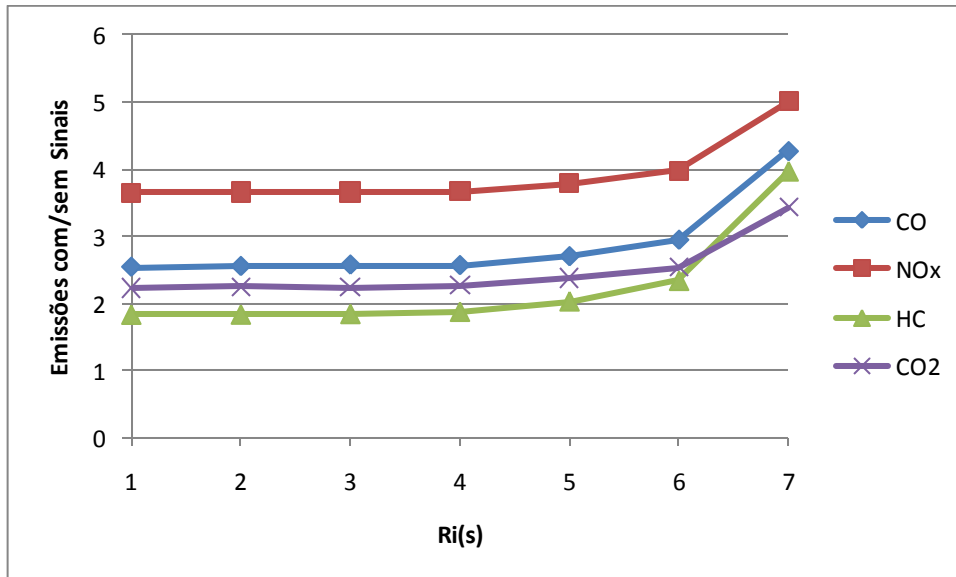


Figura 61 – Efeito do aumento do tempo de incremento do sinal vermelho nas emissões (Q=900vph)

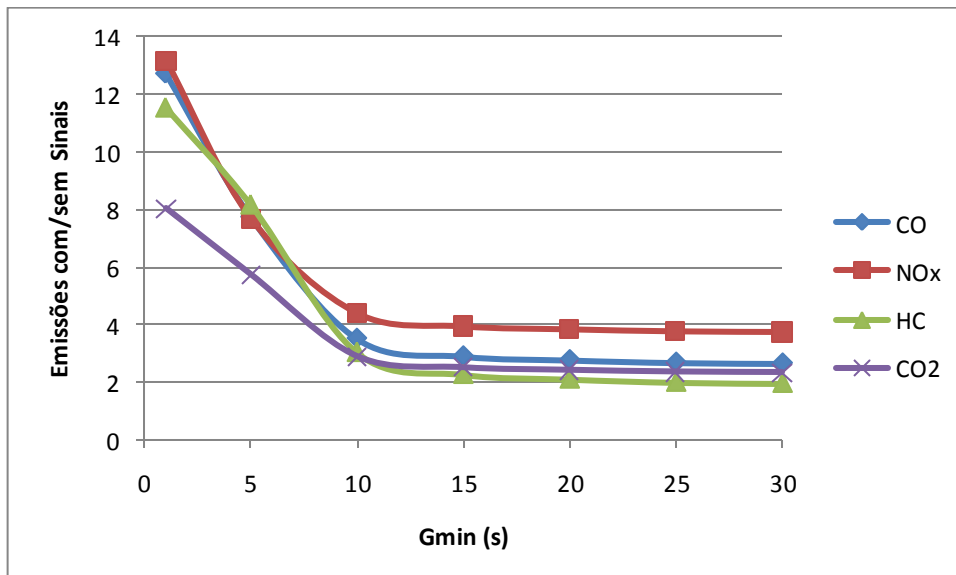


Figura 62 – Efeito do aumento do tempo mínimo do sinal verde nas emissões (Q=900vph)

Destas Figuras retêm-se o seguinte, o aumento do tempo de vermelho implica um maior tempo de espera para os veículos em fila, daí que as emissões tendam a aumentar. O contrário ocorre com o tempo mínimo de verde, pois um tempo de sinal verde curto implica que mais veículos estarão em fila, logo mais veículos estarão a poluir.

As Figuras 63 e 64 concernem, desta vez, à avaliação do Caso A, variando o fluxo de veículos (Q) e obtendo as emissões para cada nível desse fluxo.

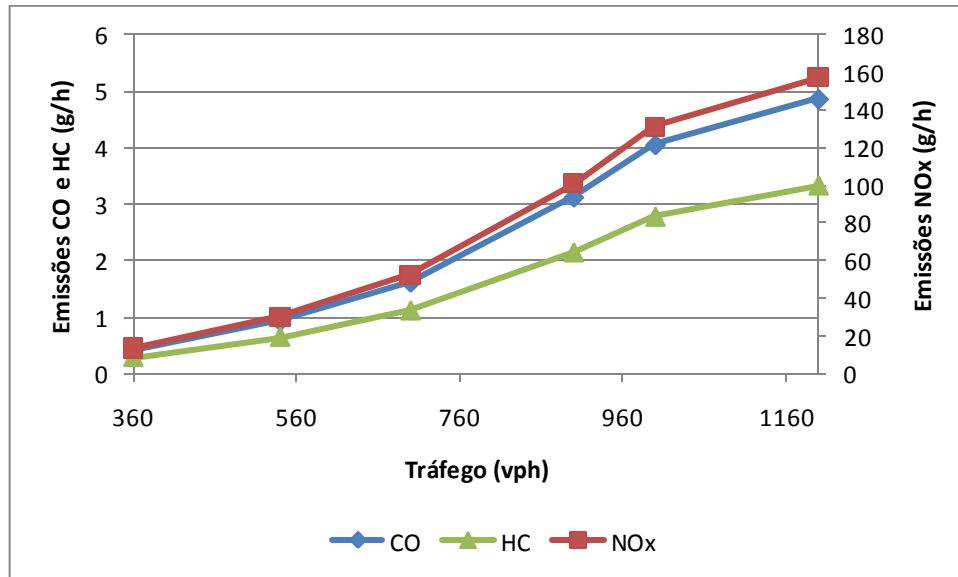


Figura 63 – Emissões na presença dos sinais (Caso A)

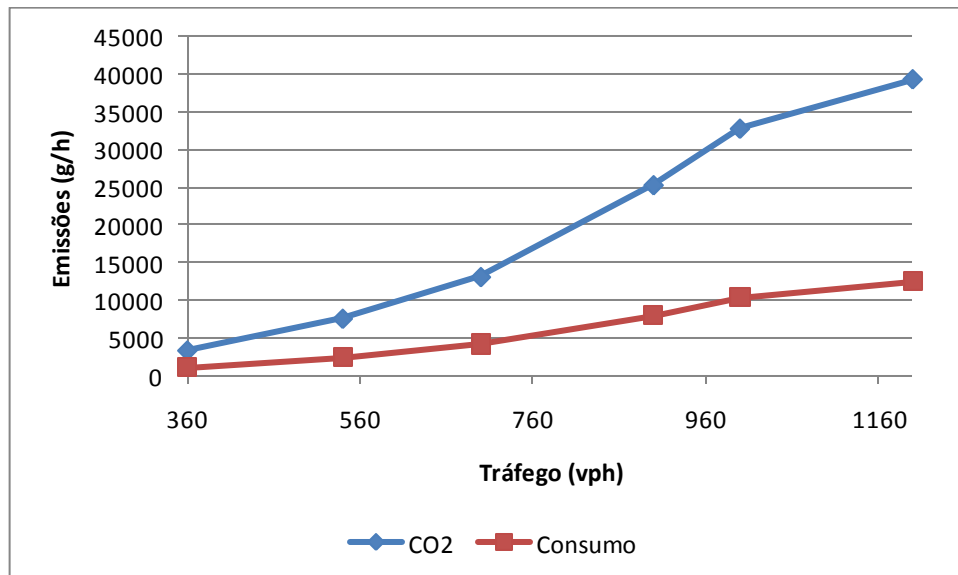


Figura 64 – Emissões CO₂ e consumo de combustível na presença dos sinais (Caso A)

O comportamento de todos os poluentes e do consumo de combustível são bastante similares com o aumento do fluxo de tráfego, para um fluxo de tráfego de 1200 veículos por hora o valor dessas emissões é, respectivamente para CO, HC, NO_x, CO₂ e consumo de combustível, 4,86 g/h, 3,32 g/h, 157 g/h, 39 kg/h e 12 kg/h.

Se se compararem estes valores com os valores obtidos pelo mesmo método mas para veículos a gasolina (Coelho, 2005) conclui-se que os poluentes CO, CO₂ e HC são mais representativos nos veículos a gasolina, ao passo que o poluente NO_x é mais emitido dos escapes deste veículo a diesel.

4.3.2. Citroen Jumper

Nesta secção são apresentados os resultados relativos ao veículo Citroen Jumper. A reter que nesta secção em específico não surgem resultados relativos às emissões de CO e HC, à semelhança do ocorrido para as portagens e pelo mesmo motivo. As primeiras figuras desta secção correspondem à comparação entre as emissões na sem a presença de sinais. Para tal utilizou-se o Caso C, fazendo variar em primeiro lugar o incremento do tempo de vermelho (R_i) (Figura 65) e em segundo o tempo mínimo de verde (G_{min}) (Figura 66). Nestas duas figuras não surgem os resultados relativos ao consumo de combustível pois como os dados resultam de um rácio entre dois consumos os seus resultados são exactamente iguais aos resultados das emissões de CO_2 .

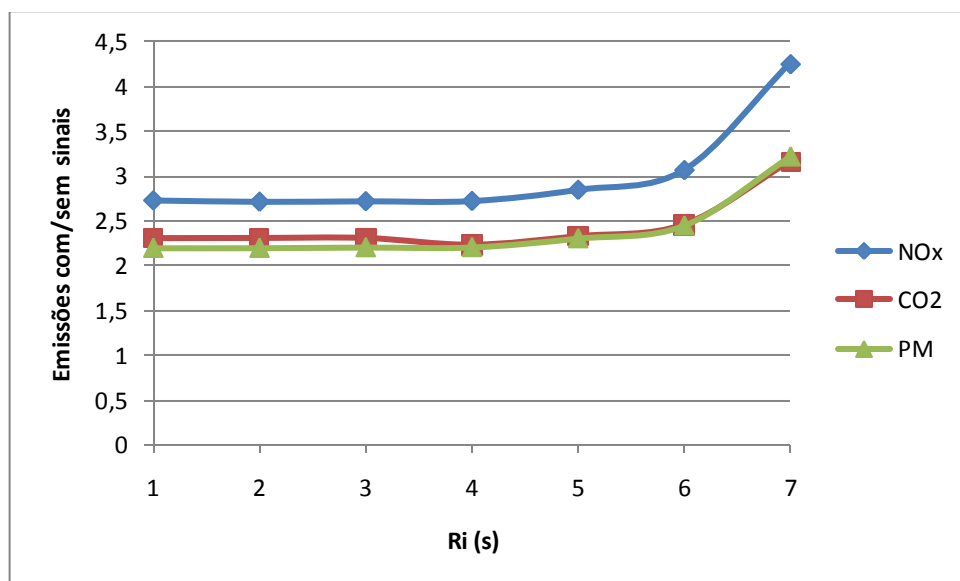


Figura 65 – Efeito do aumento do tempo de incremento do sinal vermelho nas emissões (Q=900vph)

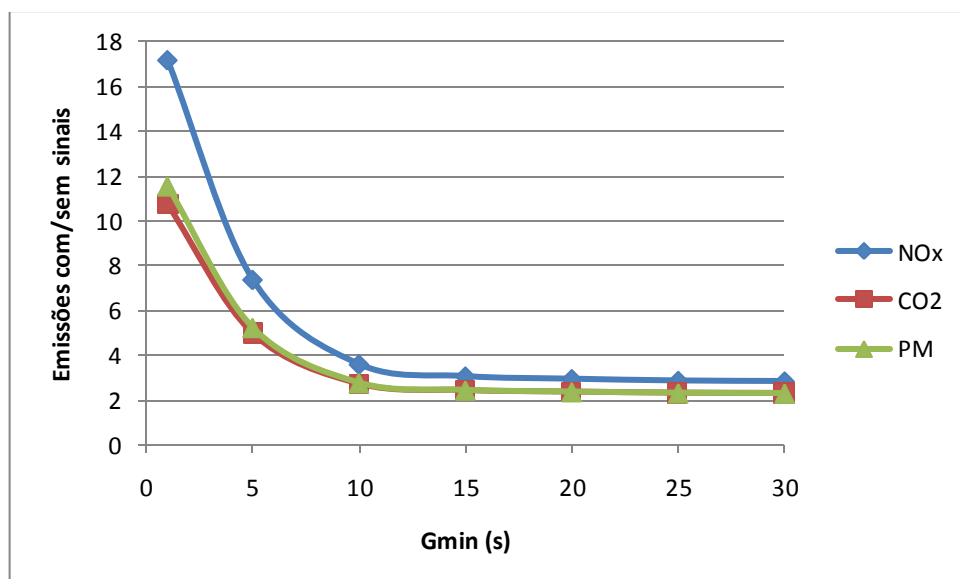


Figura 66 – Efeito do aumento do tempo mínimo do sinal verde nas emissões (Q=900vph)

Destas Figuras à reter o seguinte, o aumento do tempo de vermelho implica um maior tempo de espera para os veículos em fila, daí que as emissões tendam a aumentar. O contrário ocorre com o tempo mínimo de verde, pois um tempo de sinal verde curto implica que mais veículos estarão em fila, logo mais veículos estarão a poluir.

As Figuras 67 e 68 concernem, desta vez, à avaliação do Caso A, variando o fluxo de veículos (Q) e obtendo as emissões para cada nível desse fluxo.

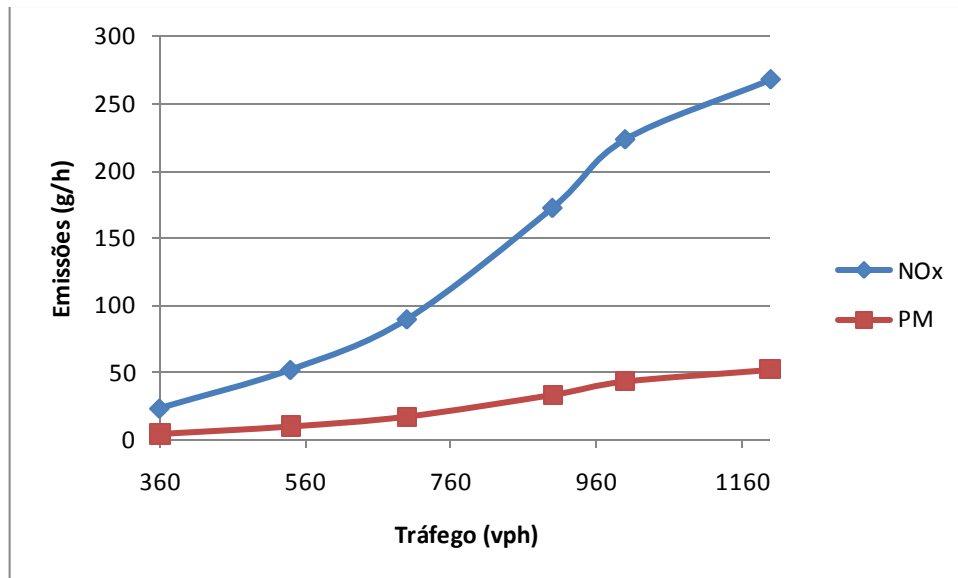


Figura 67 – Emissões na presença dos sinais (Caso A)

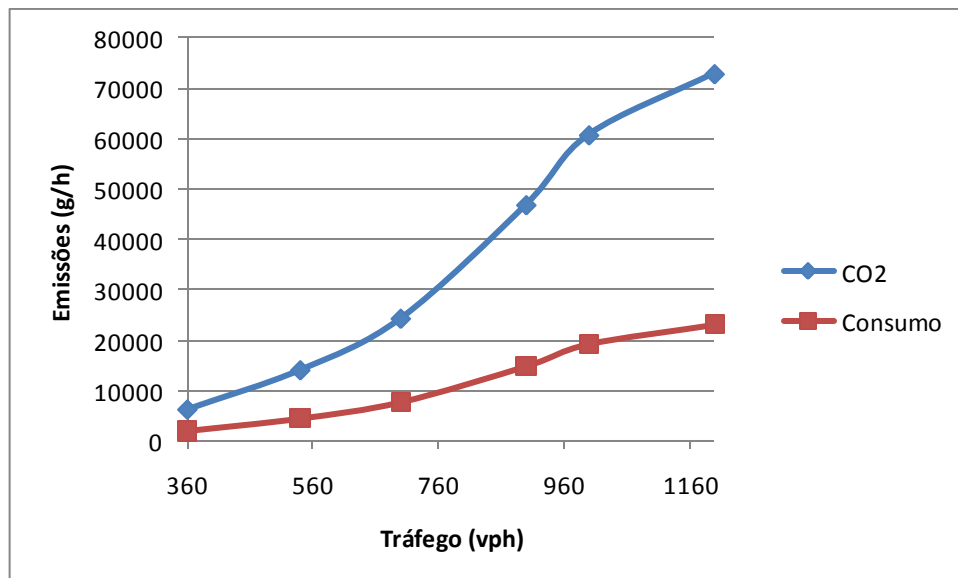


Figura 68 – Emissões e consumo de combustível na presença dos sinais (Caso A)

O comportamento de todos os poluentes e do consumo de combustível são bastante similares com o aumento do fluxo de tráfego, para um fluxo de tráfego de 1200 veículos por hora o valor dessas emissões é, respectivamente para NO_x, CO₂, PM e consumo de combustível, 268 g/h, 72 kg/h, 52 g/h e 23 kg/h.

Se se compararem estes valores com os valores obtidos pelo mesmo método mas para veículos a gasolina (Coelho, 2005) conclui-se que os poluentes este veículo obtêm piores desempenhos ambientais em comparação com os veículos a gasolina, excepção feita aos poluentes HC e CO que não puderam ser comparados. O caso específico do CO₂ torna-se reincidente, pois repete o sucedido, tanto nas portagens como nas rotundas, obtendo-se piores valores de emissões para o veículo a diesel do que com os veículos a gasolina. Apesar dos Modos VSP que ocorrem nesta situação serem predominantemente baixos (menores que Modo VSP 3), à que ter em conta o peso de cada factor de emissão CO₂.

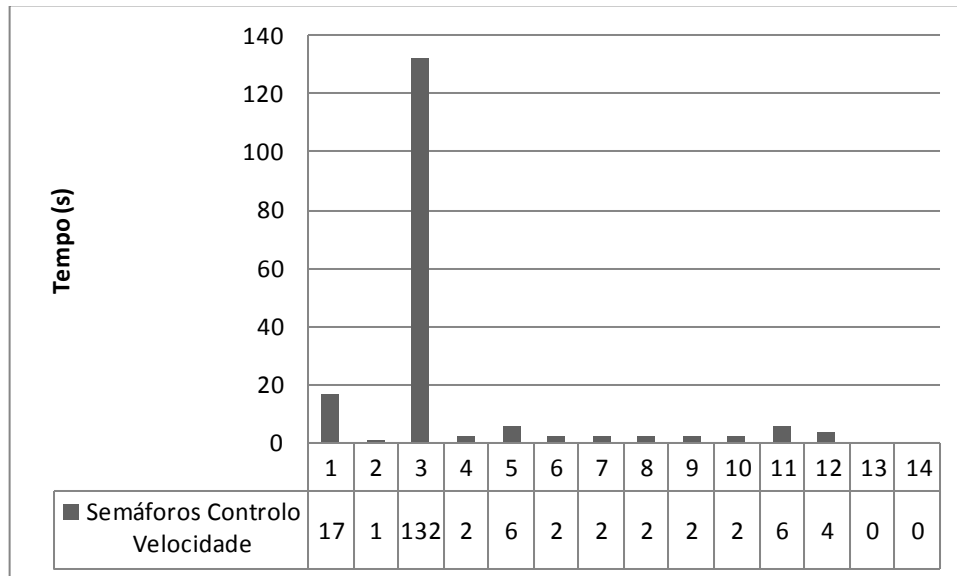


Figura 69 – Tempo dispendido em cada Modo VSP

Modo VSP	Citroen Jumper	Veículo a gasolina	Diferença (Jumper-Gasolina)	Peso de Cada Modo VSP
1	0,29	1,67	-1,38	-23,54
2	0,84	1,45	-0,61	-0,61
3	1,07	1,13	-0,06	-8,47
4	2,55	2,23	0,32	0,63
5	4,34	2,90	1,44	8,62
6	6,14	3,50	2,64	5,27
7	8,20	4,10	4,10	8,21
8	9,90	4,60	5,30	10,59
9	11,27	5,10	6,17	12,34
10	12,34	5,60	6,74	13,48
11	13,28	6,50	6,78	40,69
12	15,12	7,50	7,62	30,47
13	16,57	9,00	7,57	0,00
14	18,03	10,00	8,03	0,00

Tabela 14 – Factores de emissão CO₂ e respectivo peso de cada Modo VSP

A Tabela 14 exhibe este facto sendo que na coluna mais à direita é apresentado o peso de cada Modo VSP em relação ao tempo dispendido nesse mesmo Modo. A conclusão a retirar é que o CO₂ continua a ser mais emitido pelo veículo a diesel não por passar mais tempo em Modos VSP

cujos factores de emissão CO_2 são superiores, como ocorre nas portagens e rotundas, mas pela diferença que existe entre os factores de emissão CO_2 do veículo a gasolina e os correspondentes factores de emissão do veículo Citroen Jumper.

5. Conclusões e Trabalho Futuro

A principal motivação deste trabalho foi quantificar o nível de emissões associado a veículos com motor diesel em cada interrupção de tráfego, para posterior comparação com uma análise anteriormente realizada para veículos a gasolina. Para tal utilizou-se a metodologia VSP.

De um modo geral pode-se conduzir que, em termos de emissões poluentes em veículos a diesel, situações que envolvam maiores variações de velocidade são mais prejudiciais. Além disto e comparando com os veículos a gasolina (Coelho, 2005) as emissões de CO e HC serão inferiores em veículos com motor diesel, ao passo que nestes últimos as emissões de NO_x são superiores. Importante não esquecer que a referência a veículos a gasolina remete-nos não para um único veículo, mas para os 17 veículos da ponderação efectuada na obtenção dos factores de emissão (US EPA, 2002).

De seguida particularizam-se as condusões específicas para cada interrupção de tráfego.

5.1. Portagem

Dos três tipos de portagens estudados a mais nefasta ao nível das emissões poluentes é a portagem convencional, seguida da portagem de pagamento electrónico (Via Verde) e pela situação sem portagem.

Além disto, poluentes como o NO_x e o CO₂ (logo, o consumo de combustível) obtêm uma percentagem assinalável (70% e 59%, respectivamente) das suas emissões devido à aceleração final de volta à velocidade de cruzeiro, isto para o Skoda Octavia. Algo de similar ocorre para o Citroen Jumper, pois NO_x, CO₂ e PM obtêm mais de 50% das suas emissões nesta última aceleração. Assim, pode-se conduzir que as emissões de NO_x, CO₂ e PM estão associadas a momentos de elevada carga no motor, momento como é o caso da aceleração após o pagamento de portagem.

As portagens de pagamento electrónico são benéficas para o meio ambiente em relação às portagens convencionais, pois em ambos os veículos o nível de poluição adicional obtido de uma portagem convencional (20 veículos na fila) rondou, no melhor dos casos, os 149% NO_x (Skoda Octavia) e, no pior dos casos, os 337% por parte do HC (também Skoda Octavia). A reter ainda que a implementação de um sistema de cobrança automática de portagem sem que o condutor tenha que desacelerar (sistema já existente no nosso país, por exemplo, na A17) seria o melhor dos casos, pois os níveis de poluição neste caso são ainda mais baixos que os níveis de poluição de uma portagem de pagamento electrónico com limite de velocidade 60 km/h.

A comparação entre veículos a diesel e veículos a gasolina indica que o poluente NO_x é mais elevado em veículos a diesel (tanto Skoda Octavia como Citroen Jumper) e os poluentes HC e CO são mais altos em veículos a gasolina (comparando apenas Skoda Octavia).

Quanto ao poluente global CO_2 nem sempre se obtém o mesmo resultado. Apenas no veículo Skoda Octavia e nas portagens convencionais as emissões de CO_2 são menores no veículo a diesel. Nas portagens Via Verde e na ausência de portagens as emissões de CO_2 são superiores nos veículos a diesel. No caso do veículo Citroen Jumper as emissões de CO_2 são sempre superiores em relação ao veículo a gasolina. Este evento fica-se a dever ao facto de os factores de emissão de CO_2 dos veículos a diesel para cargas mais elevadas serem superiores aos factores de emissão correspondentes nos veículos a gasolina. Além disto e particularmente o veículo Citroen Jumper tem factores de emissão de CO_2 muito elevados o que implica um consumo de combustível maior, algo esperado pois é um veículo com uma massa consideravelmente superior e, por ser um veículo comercial, terá uma aerodinâmica menos cuidada em detrimento de um volume de carga superior.

5.2. Rotunda

A inexistência de rotunda é benéfica em termos ambientais, no entanto as rotundas têm um efeito regulador inestimável no tráfego rodoviário.

Da análise conclui-se que tanto o aumento do fluxo de tráfego à entrada da rotunda como o aumento do fluxo de tráfego circulante na rotunda tem efeitos nefastos na emissão de poluentes. Mantendo o fluxo de tráfego circulante (Q_{conf}) constante (750 vph) e aumentando o fluxo de tráfego à entrada da rotunda (Q_{in}) de 100 para 450 vph, obtêm-se aumentos de 6 vezes mais para CO e CO_2 e 8 e 9 vezes mais para NO_x e HC, considerando o veículo Skoda Octavia. Se se considerar o Citroen Jumper, essa variação é de 5 vezes mais para CO, 7 vezes mais para NO_x e PM e 6 vezes mais para HC e CO_2 .

Comparando rotundas e sinais de tráfego em cruzamentos o comportamento de todos os poluentes, em ambos os veículos, é muito semelhante à excepção do poluente PM cujo aumento entre os Q_{conf} 400 e 450 vph não é tão proeminente, 1,4 vezes mais contrastando com 2,5, 2,3, 3,5 e 6 vezes superior do HC, CO_2 , CO e NO_x (Citroen Jumper).

Outra conclusão é o facto de o aumento da diferença entre a velocidade de negociação da rotunda e a velocidade de cruzeiro implica um aumento das emissões. No Skoda Octavia, esse aumento é de 137%, 143%, 115% e 151%, respectivamente para CO, NO_x , HC e CO_2 . Os valores correspondentes no Citroen Jumper são 189%, 154%, 149% e 153%, o poluente PM tem um aumento de 112%.

Confrontando as emissões de veículos a diesel e gasolina, conclui-se que NO_x é superior nos veículos a diesel, HC e CO é superior nos veículos a gasolina e emissões de CO_2 menores no veículo Skoda Octavia que no veículo a gasolina e superiores no Citroen Jumper que no veículo a gasolina. Estes resultados no poluente CO_2 ficam-se mais uma vez a dever ao facto dos factores de emissão do poluente não terem um comportamento regular, isto é, para um determinado valor de VSP o veículo a diesel passa a ter um factor de emissão superior ao veículo a gasolina. Tal facto ocorre a partir do modo VSP 8 para o Skoda Octavia e do modo VSP 3 para o Citroen Jumper.

5.3. Semáforos de controlo de velocidade

Do mesmo modo que as rotundas a utilização de sinais de controlo de velocidade prende-se com a regulação do tráfego e diminuição das velocidades de circulação, mas mais uma vez a sua existência tem impactes ao nível das emissões de poluentes.

O efeito do aumento do tempo de sinal vermelho por cada novo infractor (R_i) é constante para as emissões de poluentes até 4 segundos, a partir dessa altura o aumento das emissões inicia-se, cifrando-se em 4,2 vezes mais para CO, 4 vezes mais para HC, 5 vezes mais para NO_x e 3,4 vezes mais para CO_2 , com $R_i=7s$ e para o Skoda Octavia. NO Citroen Jumper ocorre exactamente o mesmo sendo que para $R_i=7s$ o aumento dos poluentes é de 4,2 vezes mais para NO_x , 3,2 vezes mais para CO_2 e 3,2 vezes mais para PM. O aumento é em relação à situação sem semáforo.

A diminuição do tempo mínimo de sinal verde (G_{min}) implica um maior número de veículos parados por mais tempo nas imediações do semáforo, logo implica um nível de emissões superior ao reportado na situação sem semáforo e um aumento dessas emissões com a diminuição desse tempo mínimo de verde.

Tal como seria esperado o aumento do fluxo de tráfego de 360 vph para 1200 vph teve como consequência um aumento das emissões de poluentes em ambos os casos.

Passando à comparação entre os veículos a diesel e gasolina alcançam-se as seguintes conclusões: emissões de NO_x superiores nos veículos a diesel, CO e HC mais elevados nos veículos a gasolina e emissões de CO_2 menores no veículo Skoda Octavia que no veículo a gasolina e superiores no Citroen Jumper que no veículo a gasolina, particularizando com os veículos a gasolina cujos factores de emissão estão publicados em US EPA (2002).

Como trabalho futuro poder-se-ão desenvolver ainda mais os modelos de cada interrupção para que contemplem ainda mais situações. Além disto poder-se-á aumentar o número de veículos para os quais estas simulações foram efectuadas, por exemplo, replicar estes resultados em veículos híbridos ou veículos movidos a GPL. Outra interessante aplicação do método VSP seria a sua aplicação num estudo semelhante mas focado nas lombas de redução de velocidade.

6. Referências Bibliográficas

ACEA. (2009). *Associação Europeia de Construtores Automóveis - New Passenger Car Registration*. França.

Akcelik and Associates. (2002). *aSIDRA User Guide*, Akcelik and Associates Pty, Ltd. Melbourne.

Al-Madani, H. (2003). Dynamic vehicular delay comparison between a police-controlled roundabout and a traffic signal. *Transportation Research Part A: Practice and Policy*, 37 (8), pp. 681-688.

Chen, C.-D., Fan, Y.-W., & Farn, C.-K. (2007). Predicting electronic toll collection service adoption: An integration of the technology acceptance model and the theory of planned behaviour. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 15 (5), pp. 300-311.

Coelho, M. (2005). Assessment and Modeling of Traffic Performance and Emission Impacts of Traffic Interruptions in Urban Corridors. *Tese de Doutoramento da Universidade Técnica de Lisboa*.

Coelho, M., Farias, T., & Roupail, N. (2005). A methodology for modelling and measuring traffic and emission performance of speed control traffic signals. *Atmospheric Environment*, 39 (13), pp. 2367-2376.

Coelho, M., Farias, T., & Roupail, N. (2006). Effect of roundabout operations on pollutant emissions. *Transportation Research Part D*, 11 (5), pp. 333-343.

Coelho, M., Farias, T., & Roupail, N. (2005). Impact of speed control traffic signals on pollutant emissions. *Transportation research part D*, 10 (4), pp. 323-340.

Coelho, M., Farias, T., & Roupail, N. (2006). Measuring and Modeling Emission Effects for Toll Facilities. *Transportation Research Record: Journal of Transportation Research Board*, 1941, pp. 136-144.

Coelho, M., Frey, C., Roupail, N., Zhai, H., & Pelkmans, L. (2009). Assessing methods for comparing emissions from gasoline and diesel light-duty based on microscale measurements. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 14 (2), pp. 91-99.

Direcção Geral do Ambiente da Comissão Europeia. (4 de Abril de 2008). *Euro 5 technologies and costs for light duty vehicles*. Obtido em 18 de Outubro de 2009, de Comissão Europeia: http://ec.europa.eu/environment/air/pdf/euro_5.pdf

EEA. (2008). *Energy and Environment Report 2008*. European Environment Agency, Copenhagen.

- Elbadrawi, H. (2000). A computer simulation model for single-lane roundabouts. *ETD Collection for Florida International University* .
- Frey, C., Rouphail, N., & Zhai, H. (2006). Speed- and Facility-Specific Emission Estimates for On-Road Light-Duty Vehicles based on Real-World Speed Profiles. *Transportation Research Record* , 1987, pp. 128-137.
- Frey, H., Unal, A., Rouphail, N., & Colyar, J. (2003). On-road measurement of vehicle tailpipe emissions using a portable instrument. *Journal of Air and Waste Management Association* 53 , 53 (8), pp. 992-1002.
- Hallmark, S., Fomunung, I., Guensler, R., & Bachman, W. (2000). Assessing impacts of improved signal timing and transportation control measure using an activity-specific modelling approach. *Transportation Research Record* N79 , 1738, pp. 49-55.
- Huang, D.-W., & Huang, W.-N. (2002). The Influence of Tollbooths on Highway Traffic. *Physica A* , 312 (3), 597-608.
- IEA. (2007). *World Energy Outlook*. International Energy Agency, França.
- Lampe, A., & Scott, J. (1995). Electronic Toll Collection and Air Quality. *Intelligent Transportation, Serving the User through Development: Proceedings of the 1995 Annual Meeting of ITS America* .
- Lin, J., & Yu, D. (2007). Traffic related air quality assessment for open road. *Journal of Environmental Management* , 88 (4), 962-969.
- Mandavillia, S., Rysb, M., & Russella, E. (2007). Environmental impact of modern roundabouts. *International Journal of Industrial Ergonomics* , 38 (12), pp. 135-142.
- Nagel, K., & Schreckenberg, M. (1992). A cellular automaton model for freeway traffic. *Journal de Physique I* , 2 (12), 2221-2229 .
- Ntzachristos, L., & Samaras, Z. (2000). *Copert IV - Computer Programme to Calculate Emissions from road Transport*. Bruxelas: European Environment Agency.
- Persaud, B., Retting, R., Garder, P., & Lord, D. (2001). Safety Effect of Roundabout Conversions in the United States Empirical Bayes Observational Before After Study. *Transportation Research Record* N80 , 1751, 1-8.
- Robinson, M., & Aerde, M. V. (1995). Examining the Delay and Environmental Impacts of Toll Plaza Characteristics. *Proceedings of the 1995 Vehicle Navigation and Information Systems Conference—Sixth International VNIS, Washington State Convention and Trade Center*. Seattle.
- Savage, F., & Al-Sahili, K. (1994). Traffic Circles - A viable form os intersection control. *ITE Journal* , 64 (9), pp. 40-45.
- Schoon, C., & Van Minnen, J. (1994). The Safety of Roundabouts in the Netherlands. *Traffic Engineering & Control* , 35 (3), 142-148.

Transportation Research Board. (2000). Highway Capacity Manual 2000. *National Academy of Sciences* .

US EPA. (2002). *Methodology for Developing Modal Emission Rates for EPA's Multi-Scale Motor Vehicle and Equipment Emission System*. United States Environmental Protection Agency, Department of Civil Engineering, Washington DC.

US EPA. (2004). *MOVES2004 User guide*. United States Environmental Protection Agency, Washington D.C.

US EPA. (2002). *User's guide to Mobile 6.1 e 6.2: Mobile Source Emission Factor Model*. United States Environmental Protection Agency, Washington D.C.

Varhelyi, A. (2001). The effects of small roundabouts on emission and fuel consumption: a case of study. *Transportation Research Part D: Transport and Environment* , 7 (1), pp. 65-71.

Zanillo, M., Radwan, A., & Al-Deek, H. (1997). Modelling traffic Operations on Electronic Toll Collection and Traffic Management Systems. *Computers and Industrial Engineering* , 33 (3), 857-860.